



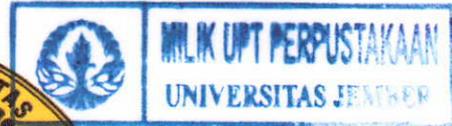
**PENGUJIAN KUAT TEKAN DAN DAKTILITAS KOLOM
BETON BERTULANG BERPENAMPANG LINGKARAN
DENGAN MENGGUNAKAN
CFRP *Sika Wrap 230C*
(*Carbon Fiber Reinforced Polymer*)**

SKRIPSI

Asal :	Hadiah Pembelian 18 JAN 2011	Mass 691.3 SUP P
Telera Tgl :		
Jumlah Eks :		
Pengkatalog: Oleh		

Aji Suprayogi
NIM. 041910301062

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2010**



**PENGUJIAN KUAT TEKAN DAN DAKTILITAS KOLOM
BETON BERTULANG BERPENAMPANG LINGKARAN
DENGAN MENGGUNAKAN
CFRP *Sika Wrap 230C*
(*Carbon Fiber Reinforced Polymer*)**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 (S1) Teknik
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh

Aji Suprayogi
NIM. 041910301062

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2010**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Ibunda Mimin Rusmini dan Ayahanda Setyobudi yang tercinta, yang telah memberikan keikhlasan doa, cinta dan kasih sayang kepada anak-anaknya demi meraih kesuksesan masa kini dan masa depan;
2. Adekku Ahmad Bagas Restyono yang memberikan doa, semangat;
3. Alm.Eyang Sutardi, Eyangti Hj. Soejatoen, Tante Nini, Tante Fitri, Tante Ririn, Tante Titi, Ade Laras, Ade Ilham yang memberikan doa dan semangat;
4. Keluarga besar Jember, keluarga Madiun, keluarga Madura, dan keluarga besar Bandung;
5. Kekasihku yang tercinta Putri Anandina yang mendoakan dan membantu dalam pengerjaan skripsi ini;
6. Guru-guruku sejak taman kanak-kanak sampai dengan dosen perguruan tinggi;
7. Almamater Fakultas Teknik Universitas Jember;

MOTTO

Selalu berfikir positif, selalu berdoa, selalu rajin dan selalu ingat Allah SWT

(Ibu Mimin Rusmini)

Jangan malas, selalu hati-hati, dan selalu ingat keluarga

(Bapa Setyobudi)

"Janganlah kamu bersikap lemah dan janganlah pula kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi 'derajatnya', jiksa kamu orang-orang yang beriman" *(QS. Ali 'Imran: 139)*

"Apabila kamu dihormati dengan suatu penghormatan, maka balaslah penghormatan itu dengan lebih baik atau balaslah dengan serupa sesungguhnya Allah SWT memperhitungkan segala sesuatu" *(QS. An-Nisaa: 86)*

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aji Suprayogi

NIM : 041910301062

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya ilmiah yang berjudul :

"Pengujian Kuat Tekan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang Berpenampang Lingkaran Dengan Menggunakan CFRP Sika Wrap 230C (Carbon Fiber Reinforced Polymer)" adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Desember 2010

Yang menyatakan,



Aji Suprayogi

NIM.041910301062

SKRIPSI



**PENGUJIAN KUAT TEKAN DAN DAKTILITAS KOLOM BETON
BERTULANG BERPENAMPANG LINGKARAN DENGAN
MENGUNAKAN
CFRP *Sika Wrap 230C*
(*Carbon Fiber Reinforced Polymer*)**

Oleh

Aji Suprayogi

NIM. 041910301062

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Ketut Aswatama W, ST. MT

Dosen Pembimbing Anggota : Erno Widayanto, ST. MT

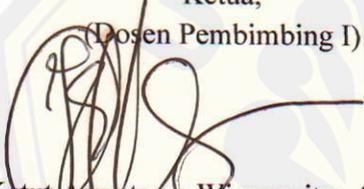
PENGESAHAN

Skripsi berjudul "*Pengujian Kuat Tekan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang Berpenampang Lingkaran Dengan Menggunakan CFRP Sika Wrap 230C (Carbon Fiber Reinforced Polymer)*" telah diuji dan disahkan oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

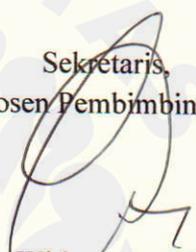
Hari : Kamis
Tanggal : 16 Desember 2010
Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

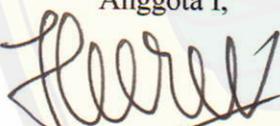
Ketua,
(Dosen Pembimbing I)


Ketut Aswatama Wiswamitra, ST. MT
NIP. 19700713 200012 1 001

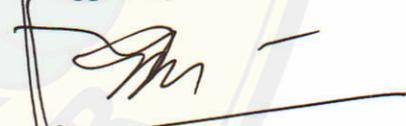
Sekretaris,
(Dosen Pembimbing II)


Erno Widayanto, ST. MT
NIP. 19700419 199803 1 002

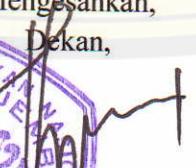
Anggota I,


Ir. Krishnamurti, MT
NIP. 19661228 199903 1 002

Anggota II,


Ir. Hernu Suyoso, MT
NIP. 19551112 198702 1 001

Mengesahkan,
Dekan,


Ir. Widyono Hadi, M.T
NIP. 19610414 198902 1 001



**PENGUJIAN KUAT TEKAN DAN DAKTILITAS KOLOM BETON
BERTULANG BERPENAMPANG LINGKARAN DENGAN
MENGUNAKAN
CFRP *Sika Wrap 230C*
(*Carbon Fiber Reinforced Polymer*)**

Oleh:

Aji Suprayogi – NIM. 041910301062

Pembimbing:

Ketut Aswatama Wiswamitra, ST. MT dan Erno Widayanto, ST. MT

ABSTRAK

Kolom lingkaran berpengekang CFRP hasil eksperimen mengalami peningkatan kuat tekan P beton, akan tetapi nilai itu tidak meningkat signifikan dengan adanya penambahan jumlah lapisan CFRP pada kolom, yaitu peningkatan hanya sebesar 40.5% dari lapis 1 ke lapis 2, dan sebesar 31.7% dari lapis 2 ke lapis 3, hal demikian tidak seperti pada lapisan 1 sebesar 101.3%. Hal ini disebabkan kekuatan f_c kolom beton bertulang pada saat terkekang tulangan spiral dan 1 lapis CFRP ikut bekerja menyerap energi beban yang diberikan, ini menyebabkan nilai kekangan 1 lapis lebih besar. Sedangkan pada saat lapis ke 2 CFRP kekuatan beton hilang, yang bekerja hanya pada tulangan dan CFRP. Kolom uji yang diberi CFRP juga mengalami peningkatan daktilitas μ , terutama pada lapisan 1 CFRP daktilitas meningkat sebesar 188.6 %, pada lapis ke 2 CFRP sebesar 277.8 %. sedangkan lapis 3 CFRP meningkat sebesar 318.1 %, sehingga kolom terkekang CFRP 2 lapis dan CFRP 3 lapis yang memenuhi syarat daktilitas penuh $\mu \geq 5.0$ sesuai dengan SNI 03-1726-2002 dan dapat dimanfaatkan untuk melakukan perkuatan struktur di wilayah gempa

Kata kunci: Kolom lingkaran, kuat tekan, daktilitas, CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*).

**COMPRESSIVE STRENGTH TESTING AND DUCTILITY OF
CIRCULAR REINFORCED CONCRETE COLUMNS USING SIKA WRAP
230C CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)**

By:

Aji Suprayogi - NIM. 041910301062

Advisor:

Ketut Aswatama Viswamitra, ST. MT and Erno Widayanto, ST. MT

Column circle confined with CFRP experimental results have increased P concrete compressive strength, but the value was not increased significantly with the number of layers of CFRP in the column, an increase of only 40.5% of tier layer 1 to layer 2, and amounted to 31.7% from layer 2 to layer 3, no such case as in layer 1 by 101.3%. This is due to f_c strength reinforced concrete columns confined at the time of spiral reinforcement and 1 layer of CFRP to absorb energy involved work load is given, this causes the value of 1 layer of greater restraint. Meanwhile, during the 2-layer CFRP concrete strength is lost, which works only on spirally reinforced columns and CFRP. Column tests are given CFRP also increased ductility μ , especially in 1 layer CFRP ductility increased by 188.6%, on the 2nd layer CFRP by 277.8%. while the third layer CFRP increased by 318.1%, so that columns confined with CFRP 2 layers and 3 layers CFRP eligible full ductility $\mu \geq 5.0$ according to the SNI 03-1726-2002 and can be used to make retrofitting structures in earthquake areas.

Keywords: Column circle, compressive strength, ductility, CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer).

RINGKASAN

Pengujian Kuat Tekan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang Berpenampang Lingkaran Dengan Menggunakan CFRP Sika Wrap 230C (Carbon Fiber Reinforced Polymer). Aji Suprayogi; 041910301062; 2010: 136 halaman; Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Dalam kondisi ultimit banyak faktor yang dapat menyebabkan mutu beton tidak mencukupi dan dalam hal ini dapat menyebabkan kerusakan dan keruntuhan pada struktur beton, sehingga perkuatan sebelum terjadi keruntuhan pada kolom perlu dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dari kolom tersebut. Perkuatan dan perbaikan pada kolom berbagai macam metode, Dalam pemilihan metode perkuatan harus diperhatikan beberapa hal yaitu kapasitas struktur, lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga pelaksana serta batasan-batasan dari pemilik seperti keterbatasan ruang kerja, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan biaya perkuatan. Salah satu jenis perkuatan dan perbaikan yang bersifat *confinement* yang populer pada saat ini adalah *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* prinsip penambahannya mirip seperti plat baja.

Penelitian ini difokuskan pada pengujian elemen struktur kolom beton bertulang berpenampang melingkar terkekang CFRP *Sika Wrap 230C*, Hal ini memerlukan pengamanan yang ketat agar tidak terjadi kegagalan. Keadaan ini hanya dapat diwujudkan bila kolom tersebut diberi pengekang (*confinement*) yang cukup. Kekurangan daktilitas tersebut diatasi dengan pengekang (*confinement*) tambahan berupa CFRP. Adanya perkuatan kolom oleh lilitan CFRP diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas secara berarti.

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan, adanya peningkatan kuat tekan dan daktilitas, pada saat di beri CFRP yaitu sebesar 101.3% untuk 1 lapis CFRP, 141.8% untuk 2 lapis CFRP, 173.5% untuk 3 lapis CFRP, dan untuk peningkatan daktilitasnya yaitu sebesar $\mu_e = 4.393$ untuk 1 lapis CFRP, $\mu_e = 6.467$ untuk 2 lapis CFRP, dan $\mu_e = 7.408$ untuk 3 lapis CFRP. Semakin banyak lapisan CFRP, kuat tekan dan daktilitas kolom semakin meningkat.

Kolom untuk 1 lapis mengalami peningkatan yang signifikan tapi dengan adanya penambahan lapisan CFRP menjadi 2 lapis dan 3 lapis kekuatan kolom tidak meningkat sebanyak pada pemberian lapisan 1, ini di tunjukan juga pada data hasil perhitungan dengan rumus Pullido, Fardis, Mander, ACI Committee, dan Karbhari. Hal ini disebabkan pada lapisan 1 CFRP didukung oleh kekuatan beton f_c kolom, maka perkuatan memakai lapisan CFRP akan lebih efektif jika kuat tekan kolom dinaikkan dibandingkan dengan menambah tebal lapisan CFRP.



SUMMARY

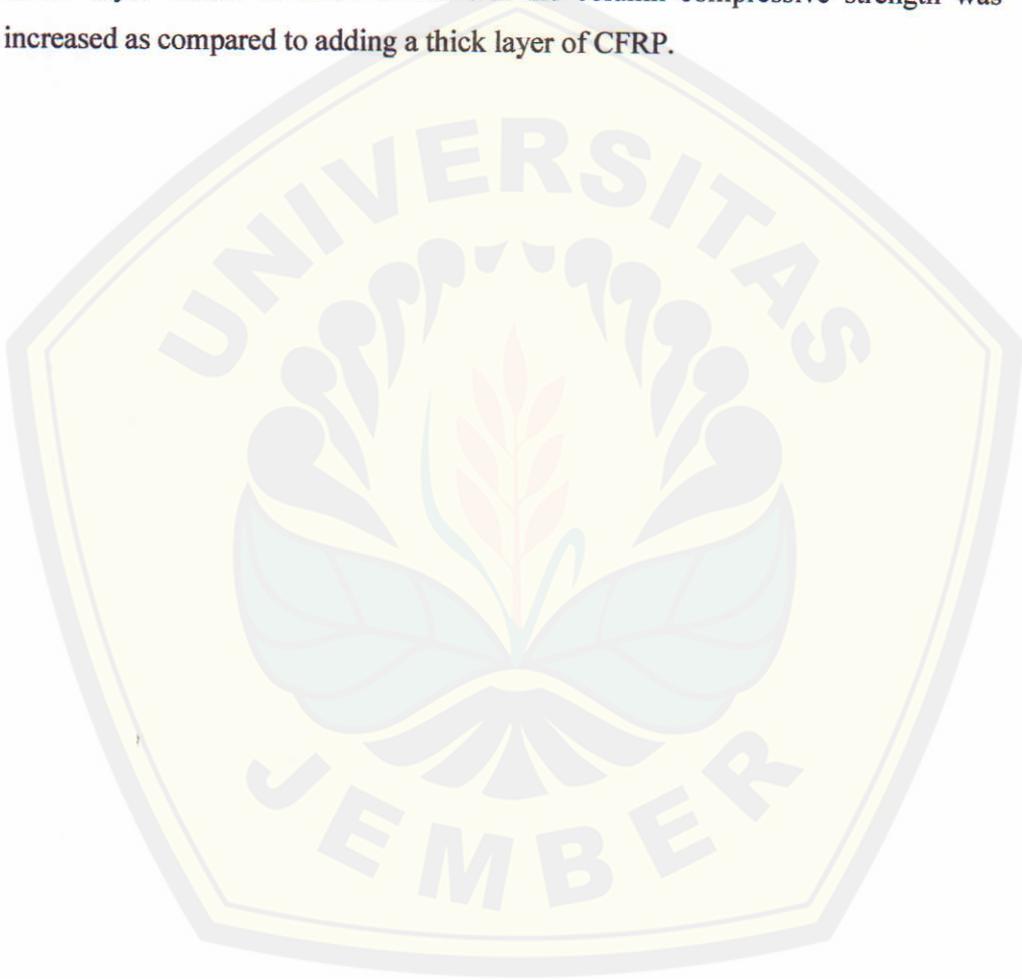
Compressive Strength Testing and Ductility of Reinforced Concrete Columns Using CFRP circular Sika Wrap 230C (Carbon Fiber Reinforced Polymer). Aji Suprayogi; 041910301062; 2010: 136 pages; Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

In the ultimate condition of many factors that can cause the concrete quality is inadequate and in this case can lead to damage and collapse of the concrete structure, so that the reinforcement before the collapse of the column needs to be done to increase the strength of the column. Strengthening and improvement in the field a variety of methods, the selection method should consider strengthening the capacity of some structures, the environment in which the structure is located, the equipment available, the ability of executive power and the limits of its owner such as limited working space, ease of implementation, the implementation time and retrofitting costs. One type of reinforcement and improvement of confinement that are popular at the moment is Fiber Reinforced Polymer (FRP) principle similar to the addition of steel plate.

This study focused on testing the structural elements of reinforced concrete columns confined with CFRP circular, incorporating Sika Wrap 230C, This requires strict security to prevent failure. This situation can only be realized if the column is given the confinement that sufficient. Lack of ductility is overcome with confinement, an additional form of CFRP. The existence of a column by winding CFRP reinforcement is expected to increase significantly the strength and ductility.

Based on the results of experiments conducted, an increase in compressive strength and ductility, when given a CFRP that is equal to 101.3% for 1 layer of CFRP, 141.8% for 2 layers of CFRP, 173.5% for the 3 layers of CFRP, and to increase ductility in the amount of $\mu_e = 4393$ for 1 layer of CFRP, $\mu_e = 6467$ for 2 layers of CFRP, and $\mu_e = 7408$ to 3 layers of CFRP. More and more layers of CFRP, compressive strength and ductility of the column increases.

Column for 1 layer has increased significantly but with the addition of CFRP layer into 2 layers and 3 layers of the column strength is not increased as much as on providing the layer 1, is in the show are also on the data calculated by the formula Pullido, Fardis, Mander, ACI Committee, and Karbhari. This is due in 1 layer CFRP concrete strength f_c supported by columns, then strengthened using CFRP layer would be more effective if the column compressive strength was increased as compared to adding a thick layer of CFRP.



PRAKATA

Dengan memanjatkan puji Syukur ke hadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "*Pengujian Kuat Tekan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang Berpenampang Lingkaran Dengan Menggunakan CFRP Sika Wrap 230C (Carbon Fiber Reinforced Polymer)*". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam menyusun skripsi ini, penulis dibantu oleh banyak pihak yang telah memberi masukan yang berharga, baik berupa bimbingan ataupun saran untuk menyempurnakan karya ini, karena itu perkenankan penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak yang membantu, diantaranya:

1. Ir. Widyono Hadi, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.
2. Ketut Aswatama W, ST. MT selaku Kepala Laboratorium Struktur dan selaku pembimbing pertama.
3. Erno Widayanto, ST., MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember dan sebagai pembimbing kedua.
4. Ir. Krisnamurti, MT selaku Pembantu Dekan III Fakultas Teknik Universitas Jember dan selaku penguji.
5. Ir. Hernu Suyoso, MT selaku penguji.
6. Pak Akir yang telah membimbing selama pelaksanaan penelitian.
7. Bapak Hartono dari PT Sika Indonesia Jakarta dan Bapak Ir. Tonny Hartono dari PT Sika Indonesia Surabaya yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian penelitian ini.
8. Adek-adek dari angkatan 2005 teknik sipil yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan penelitian ini, khususnya adek Imam, adek Candra.
9. Teman-teman angkatan 2004 teknik sipil, khususnya Alm. Wawan setiawan yang menjadi teman yang selalu memberi semangat.
10. Kakak-kakak angkatan 2003 teknik sipil yang selalu mendoakan aku terutama Mas Tio, Mas Tito, Mas Yuda, Mas Candra, dan Mas Kiki.

11. Seluruh teman-teman di Teknik Sipil yang telah banyak membantu dalam kuliah dan proses penyelesaian skripsi.
12. Mas Dian Wahyu yang membantu memudahkan skripsi ini diselesaikan.
13. Seluruh keluarga besar Jember Eyangti, tante Ninik, Tante Fitri, dan Adek laras, Adek Ilham.
14. Putri Anandina selaku pendamping setia dalam menyelesaikan skripsi ini.
15. Seluruh Dosen dan karyawan Teknik Sipil yang telah banyak membimbing selama kuliah.

Menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis senantiasa mengharapkan saran, kritik, yang bersifat membangun demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, semoga skripsi ini dapat berguna bagi pembaca dan bagi penulis sendiri pada khususnya.

Jember, 16 Desember 2010

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PENGESAHAN	vi
ABSTRAK	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR GRAFIK	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Perkuatan	6
2.2.1 <i>Confinement Fiber Reinforced Polimer</i>	8
2.2.2 Alasan Menggunakan CFRP	11
2.2.3 Fungsi CFRP	12

2.2.4	Pekerjaan Sebelum Pemasangan	12
2.3	Pekerjaan Dan Pemasangan CFRP Pada Kolom	15
2.3.1	Pekerjaan Pada CFRP	15
2.3.2	Pekerjaan Pemasangan CFRP	16
2.3.3	Lokasi Kegagalan Pada Daerah Struktur Kolom ...	18
2.4	Pengekangan Pada Kolom	20
2.4.1	Jenis Kolom	22
2.4.2	Persyaratan Penulangan kolom	24
2.4.3	Pengaruh Sengkang Terhadap Kolom	25
2.4.4	Spiral	26
2.4.5	Kekuatan Kolom Eksentrisitas Kecil	28
2.4.6	Keadaan Renggangan Berimbang Kolom	29
2.5	Kolom Langsing	31
2.5.1	Struktur Kolom Langsing	31
2.5.2	Batas Kelangsingan	32
2.5.3	Faktor Panjang Efektif	33
2.6	Ragam Kegagalan Material Pada Kolom	34
2.6.1	Keruntuhan Tekan	34
2.6.2	Keruntuhan tarik	34
2.7	Rumus Beton Terkekang Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Concrete (CFRP)	36
2.7.1	Rumus Yang Digunakan Untuk Analisa Teoritis...	36
2.7.2	Analisa Beton Terkekang Carbon Fiber Reinforced Concrete (CFRP)	38
2.8	Daktilitas	40
2.9	Kuat Tekan Beton	46
BAB 3.	METODOLOGI PENELITIAN	48
3.1	Lokasi dan Waktu Penelitian	48
3.2	Pedoman	48

3.3	Variabel Perhitungan	48
3.4	Alat dan Bahan Penelitian.....	50
3.4.1	Alat Penelitian.....	50
3.4.2	Bahan.....	51
3.5	Analisa Teoritis Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP	51
3.6	Pengujian Kuat Tekan	52
3.7	Daktalitas	53
3.8	Pengolahan Data	53
BAB 4.	HASIL DAN PEMBAHASAN	57
4.1	Hasil Pengujian Laboratorium	57
4.1.1	Perencanaan Campuran Beton	57
4.1.2	Pengujian Kuat Tekan Beton Kubus	57
4.1.3	Pengujian Baja Tulangan	57
4.1.4	Pengujian Kuat Tarik CFRP	58
4.2	Perhitungan Analitis	58
4.2.1	Perancangan Kolom Uji Tanpa CFRP	58
4.2.2	Perancangan CFRP	59
4.2.3	Hasil Analisa Kolom Terkekang Tulangan Spiral	60
4.2.4	Hasil Analisa Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP Berdasarkan Rumus	61
4.3	Hasil Pengujian Laboratorium	62
4.3.1	Pola Retak Hasil Eksperimen Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP	62
4.3.2	Hasil Eksperimen Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP	64

4.3.3 Perbandingan Hasil Rumus Dengan Hasil Eksperimen Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP	65
4.3.4 Daktilitas Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP	66
4.4 Pembahasan Hasil Pengujian	69
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	72
5.1 Kesimpulan	72
5.2 Saran	73
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN-LAMPIRAN	
1. ANALISIS PERHITUNGAN KOLOM	
2. HASIL PENGUJIAN KUAT TEKAN	
3. HASIL PENGUJIAN DAKTILITAS	
4. HASIL PENGUJIAN TULANGAN	
5. BROSUR CFRP SIKA WRAP 230C	
6. FOTO HASIL PENELITIAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 : Spesifikasi material FRP (Anis. 2006).....	10
Tabel 2.2 : Perbandingan performance FRP	11
Tabel 4.1 : Proporsi Campuran Beton Mutu 26 Mpa.....	57
Tabel 4.2 : Nilai tekanan maksimum dari rumus ACI Committee	60
Tabel 4.3 : Nilai tekanan maksimum dari rumus Pullido, Fardis, Mander, ACI Committee, dan Karbhari	61
Tabel 4.4 : Nilai tekanan maksimum dari hasil eksperimen	64
Tabel 4.5 : Perbandingan nilai tekanan maksimum dari hasil eksperimen dengan rumusan	66
Tabel 4.6 : Nilai daktilitas dari hasil eksperimen.....	66

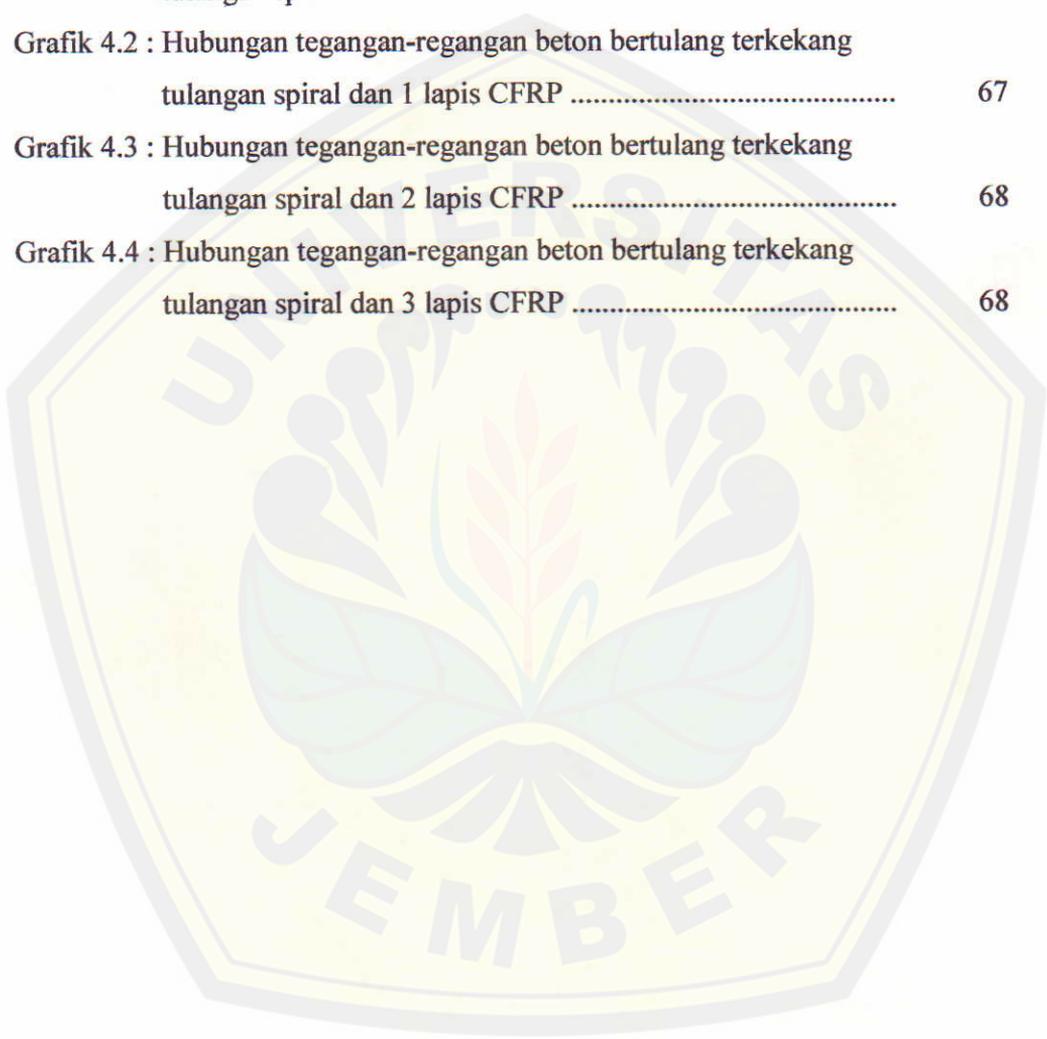
DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 : Perilaku tegangan-regangan FRP (Anis.2006).....	9
Gambar 2.2 : Tipe tulangan FRP yang sering digunakan (Roberts, C.L.2006).....	9
Gambar 2.3 : Bentuk FRP	9
Gambar 2.4 : Bentuk kolom yang rusak (a) rusak sebagian, (b) rusak keseluruhan	12
Gambar 2.5 : Metode pengolesan resin pada CFRP	16
Gambar 2.6 : Pemasangan CFRP pada daerah berbahaya, yang sudah diolesi resin atau perekat (<i>epoxy</i>) (Sianipar.2009)	16
Gambar 2.7 : Mesin alat pemasang CFRP kolom bulat (Perumalsamy.2009)	17
Gambar 2.8 : Perletakan single bending (<i>FRP Composites for reinforced and prestressed concrete structures</i> , Perumalsamy.2009) ..	19
Gambar 2.9 : Perletakan double bending (<i>FRP Composites for reinforced and prestressed concrete structures</i> , Perumalsamy.2009)	20
Gambar 2.10 : Pengekangan dengan sengkang.....	21
Gambar 2.11 : Pengekangan dengan CFRP	22
Gambar 2.12 : Jenis kolom berdasarkan bentuk dan susunan tulangannya	23
Gambar 2.13 : Jenis kolom berdasarkan posisi beban dan penampang melintang.....	24
Gambar 2.14 : Diagram <i>freebody</i> untuk kolom	26
Gambar 2.15 : Keadaan regangan berimbang penampang kolom lingkaran.....	30
Gambar 2.16 : Pengaruh pembesaran momen pada diagram interaksi	32
Gambar 2.17 : Panjang ujung sendi ekuivalen (efektif) tanpa translasi titik buhul.....	23

Gambar 2.18 : Tegangan yang terjadi pada penampang beton terkekang (Anis.2006)	22
Gambar 2.19 : Hubungan beban - lendutan	40
Gambar 2.20 : Definisi dari <i>curvature ductility</i>	42
Gambar 2.21 : Hubungan momen, curvatur, dan lendutan pada model kantilever	45
Gambar 2.22 : Defleksi	46
Gambar 3.1 : Rencana benda uji	49
Gambar 3.2 : Alat kuat tekan	52
Gambar 3.3 : Skema analisa secara teoritis kuat tekan	54
Gambar 3.4 : Skema kerja pelaksanaan penelitian.....	56
Gambar 4.1 : (a) Tulangan kolom, (b) Mortar yang sudah dimasukkan ke dalam cetakan	59
Gambar 4.2 : Pembuatan resin sikadur 330	59
Gambar 4.3 : Pemasangan CFRP Sika Wrap 230C dengan resin pada kolom	60
Gambar 4.4 : Model keruntuhan umum spesimen menggunakan tulangan spiral	63
Gambar 4.5 : Model keruntuhan umum spesimen menggunakan tulangan spiral dan 1 lapis CFRP	63
Gambar 4.6 : Model keruntuhan umum spesimen menggunakan tulangan spiral dan 2 lapis CFRP	63
Gambar 4.7 : Model keruntuhan umum spesimen menggunakan tulangan spiral dan 3 lapis CFRP	64
Gambar 4.8 : Barchart perbandingan hasil pengujian dan analisa kuat tekan.....	70

DAFTAR GRAFIK

	Halaman
Grafik 4.1 : Hubungan tegangan-regangan beton bertulang terkekang tulangan spiral.....	67
Grafik 4.2 : Hubungan tegangan-regangan beton bertulang terkekang tulangan spiral dan 1 lapis CFRP	67
Grafik 4.3 : Hubungan tegangan-regangan beton bertulang terkekang tulangan spiral dan 2 lapis CFRP	68
Grafik 4.4 : Hubungan tegangan-regangan beton bertulang terkekang tulangan spiral dan 3 lapis CFRP	68





BAB 1.

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dewasa ini telah sampai pada tingkatan yang sangat canggih. Peningkatan tersebut secara langsung mempengaruhi peningkatan standart kualitas pada dunia industri maupun pendidikan. Struktur beton bertulang didesain untuk memenuhi kriteria keamanan (*safety*) dan layak pakai (*serviceability*) terutama pada kolom. Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktur yang memikul beban dari balok. Kolom dirancang untuk dapat menahan gaya dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah yang kemudian diteruskan ke tanah melalui pondasi. Secara struktural kolom merupakan elemen yang lebih penting dari pada balok, karena pada kolom beban aksial tekan yang lebih dominan, maka perilaku kegagalan tekan akan terjadi bila perbandingan beban aksial tekan terhadap momen lentur besar. Pada umumnya kegagalan atau keruntuhan komponen kolom akibat beban tekan tidak diawali oleh tanda-tanda atau peringatan yang jelas dan sifatnya tiba-tiba. Kolom persegi dengan tulangan lateral dibandingkan dengan kolom lingkaran dengan tulangan spiral lebih memberikan kemampuan untuk menyerap deformasi yang cukup besar sebelum keruntuhan.

Dalam kondisi ultimit banyak faktor yang dapat menyebabkan mutu beton tidak mencukupi dan dalam hal ini dapat menyebabkan kerusakan dan keruntuhan pada struktur beton, sehingga perkuatan sebelum terjadi keruntuhan pada kolom perlu dilakukan untuk meningkatkan kekuatan dari kolom tersebut. Perkuatan dan perbaikan pada kolom berbagai macam metode, dalam pemilihan metode perkuatan harus diperhatikan beberapa hal yaitu kapasitas struktur, lingkungan dimana struktur berada, peralatan yang tersedia, kemampuan tenaga pelaksana serta batasan-batasan dari pemilik seperti keterbatasan ruang kerja, kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan biaya perkuatan. Salah satu jenis perkuatan dan perbaikan yang

bersifat pengekan (*confinement*) yang populer pada saat ini adalah *Fiber Reinforced Polymer (FRP)* prinsip penambahannya mirip seperti plat baja. Tipe FRP yang sering dipakai pada perkuatan struktur adalah dari bahan carbon, aramid dan glass. Bentuk FRP yang sering digunakan pada perkuatan struktur adalah Plate / Composite dan Fabric / Wrap, kelebihan yang dimiliki *Fiber Reinforced Polymer (FRP) Sheet Jacketing* dibanding perkuatan yang lain, adalah mudah dikerjakan dan murah dalam segi estimasi, FRP berupa lembaran sehingga lebih ringan dan fleksibel juga mudah dipasang mengikuti bentuk elemen struktur yang akan diperkuat, mudah dipindahkan dan tidak perlu tempat yang luas. Meskipun CFRP ini hanya berupa lembaran seperti kain namun mempunyai kekuatan dan modulus elastisitas yang tinggi, sifat ini akan memberikan pengekan yang tinggi pula jika digunakan untuk perkuatan pada elemen-elemen beton bertulang tertentu.

Mengingat potensi jenis material CFRP untuk perkuatan (*retrofitting*) yang telah dijelaskan di atas tetapi data teknis pedoman efektifitas pemanfaatannya masih belum banyak maka dalam penelitian ini dicoba menggunakan CFRP untuk bahan perkuatan kolom sebagai obyek penelitian selanjutnya akan dihitung peningkatan kekuatan dan daktilitasnya. Jenis FRP yang dipilih adalah lembaran serat karbon (CFRP), hal ini mengingat yang tersedia dipasaran Indonesia adalah jenis ini. CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) yang akan digunakan merupakan produk dari PT Sika Indonesia, dipasaran CFRP ini lebih dikenal dengan nama *Sika Wrap 230C*. Sedangkan mutu beton yang digunakan untuk riset dipilih beton mutu normal dan penelitian ini dicoba menggunakan CFRP *Sika Wrap 230C* untuk bahan perkuatan kolom sebagai obyek penelitian, selanjutnya akan dihitung peningkatan kekuatan dan daktilitasnya

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini difokuskan pada pengujian elemen struktur kolom beton bertulang berpenampang melingkar terkekang CFRP *Sika Wrap 230C*, hal ini

memerlukan pengamanan yang ketat agar tidak terjadi kegagalan. Keadaan ini hanya dapat diwujudkan bila kolom tersebut diberi *confinement* yang cukup. Kekurangan daktilitas tersebut diatasi dengan *confinement* tambahan berupa CFRP. Adanya perkuatan kolom oleh lilitan CFRP diharapkan dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas secara berarti.

Berdasarkan uraian diatas, maka masalah yang akan dibahas dalam penulisan skripsi ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

- Seberapa jauh peningkatan kekuatan dan daktilitas komponen kolom beton bertulang yang didesain melingkar dengan perkuatan tulangan transversal spiral dan yang diperkuat dengan CFRP *Sika Wrap 230C* dengan metode pengujian lab dan metode analisis teoritis.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari perilaku kolom beton bertulang kekuatan normal yang dikekang dengan CFRP *Sika Wrap 230C* dan tulangan spiral yang dikenai beban vertikal. Hasil eksperimen tersebut nantinya juga dibandingkan dengan hasil analisis perumusan beberapa penelitian yang terdahulu.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan jawaban dari permasalahan diatas :

- Untuk mengetahui seberapa jauh peningkatan kekuatan tekan dan daktilitas komponen kolom beton bertulang yang didesain melingkar yang diperkuat tulangan spiral dan diperkuat CFRP *Sika Wrap 230C* dengan pengujian laboratorium, dan metode analisis rumusan yang telah ada.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi masyarakat sebagai acuan perubahan fungsi bangunan yang ada di lapangan dan informasi mengenai

manfaat pemakaian CFRP *Sika Wrap 230C* terhadap perubahan kekuatan kolom beton bertulang sebelum dan sesudah terkekang CFRP.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memperjelas ruang lingkup pembahasan dalam karya tulis ilmiah ini maka dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Peraturan-peraturan yang dipakai adalah SNI 03-2847-2002.
2. Penelitian ini hanya meninjau dan membandingkan peningkatan daktilitas dan kuat tekan kolom beton bertulang yang diperkuat CFRP *Sika Wrap 230C* dan kolom beton bertulang terkekang tulangan spiral.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu Mengenai Perkuatan Menggunakan CFRP

Beberapa Penelitian yang menggunakan CFRP antara lain dilakukan oleh beberapa penelitian sebagai berikut, Anis (2006) meneliti Peningkatan Daktilitas Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan CFRP. Tujuan eksperimen ini adalah untuk mengetahui peningkatan daktilitas balok beton bertulang. Sistem Rangka Pemikul Momen (SRPM) yang didesain hanya berdasarkan beban gravitasi lalu diperkuat dengan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*), selanjutnya hasil eksperimen dibandingkan dengan hasil analisis menggunakan rumus yang diajukan oleh Mander, Fardis, Pullido dan ACI Committee 440.

Hasil yang diperoleh dari eksperimen ini adalah terjadi peningkatan nilai daktilitas kurvatur balok terkekang CFRP 2 lapis dibanding tanpa CFRP sebesar rata-rata 265% dan momen meningkat 45%. Sedangkan bentuk kurva hubungan $M - \mu_{\phi}$ dari eksperimen mirip dengan kurva hasil analisa teoritis dari Mander, ACI Committee 440, Fardis dan Pullido. Adapun daktilitas kurvatur yang dicapai balok terkekang CFRP 2 lapis hingga ≈ 30 , menurut Park dan Paulay (1975) ini memenuhi syarat daktilitas penuh, sehingga dapat dimanfaatkan untuk melakukan perkuatan struktur penahan gempa kuat.

Endah Kanti (2006) meneliti Pengaruh Penggunaan *Carbon Fiber Rainforced Plate* terhadap Perilaku Lentur Struktur Balok Beton Bertulang. Hasil dari penelitian Penambahan pelat CFRP secara eksternal pada balok (BTF) terhadap balok normal (BT) dapat meningkatkan kuat lentur sebesar sebesar 49 %, dan dapat meningkatkan kekakuan sebesar 68%, akan tetapi daktilitas turun sebesar 73% dan lendutannya turun 77,6 %. Penambahan pelat CFRP secara eksternal pada balok tanpa tulangan (BF) kurang efektif, karena kuat lentur yang terjadi turun sebesar 52,9 % dan lendutannya turun 89 % terhadap balok normal (BT).

Sianipar (2009) menganalisa kolom beton bertulang kotak yang diperkuat CFRP hasil dari penelitian. Kolom yang di kekang tulangan dan CFRP letaknya yang di luar mengitari bidang kolom memberikan pengaruh tarik yang besar. Semakin besar kuat tekan beton, dimensi, dan CFRP kolom akan membuat kolom semakin besar dalam menahan gaya aksial dan momen lentur kolom. Jumlah dan ukuran dimensi tulangan dapat dikurangi dengan menggunakan CFRP yang lebih tebal. Pada perhitungan kolom beton, nilai kuat tekan beton yang terkekang oleh tulangan transversal (f_{cc}') dan terkekang. Peningkatan mutu beton (f_c') = 25 MPa dengan menggunakan CFRP sebagai perkuatan dari luar untuk tebal (t_f) = 0,3 mm dapat mencapai $F_{cc}' = 29,364$ MPa, peningkatan kapasitas kolom pada beban aksial sebesar 23,906% momen lentur 133,198%.

Ahmad Nurjaman dan Faisal Kasanofa (2009) menganalisa Perkuatan Kolom Beton Bertulang dengan Menggunakan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) kolom yang digunakan adalah kolom berpenampang bulat dan kolom berpenampang persegi dari hasil penelitaian yang dilakukan didapatkan peningkatan kapasitas kolom *rectangular* sebesar 23.02% terhadap FRP (tarik) dan 48.6% terhadap FRP (tarik-tekan) jika dibandingkan dengan kondisi hanya terkekang tulangan. Hal ini berarti kapasitas kolom dengan kekangan FRP yang diberikan mampu menahan beban ultimit yang diberikan.

2.2 Perkuatan

Perkembangan teknologi beton pada saat sekarang ini, membuat konstruksi beton semakin banyak dipilih sebagai bahan konstruksi. Konstruksi dari beton banyak memiliki keuntungan selain bahannya sangat mudah diperoleh, juga memiliki beberapa keuntungan antara lain harganya relatif lebih murah, mempunyai kekuatan tekan tinggi, mudah dalam pengangkutan dan pembentukan, serta mudah perawatannya, sehingga banyak bangunan-bangunan yang didirikan memilih konstruksi yang terbuat dari beton sebagai bahan materialnya.

Penggunaan bahan tambahan pada konstruksi belakangan ini telah berkembang dengan pesat seiring dengan pesatnya pembangunan dibidang konstruksi. Banyak penemuan baru yang dapat menggantikan cara-cara konvensional seperti dibidang perkuatan struktur, dimana telah ditemukan metode dan sistem yang semakin mudah diaplikasikan serta hanya sedikit penambahan dimensi dari struktur, sehingga tetap terjaga keindahan dari konstruksi tersebut.

Gempa bumi merupakan salah satu penyebab kerusakan bangunan pemakaian struktur dengan berbagai fungsi dan kombinasi beban tergolong rentan, baik terhadap perubahan fungsi yang mengakibatkan penambahan beban yang dipikul, maupun kemungkinan terjadinya kesalahan perhitungan pada saat perencanaan. Untuk mempertahankan dan meningkatkan kekuatan (*strengthening*) fungsi struktur tersebut, terutama struktur yang menahan beban aksial tekan dan momen lentur. Ada beberapa cara yang lazim digunakan antara lain (Sianipar, 2009) :

1. Memperpendek bentang dari struktur dengan konstruksi beton ataupun dengan konstruksi baja.
2. Memperbesar dimensi daripada konstruksi beton
3. Menambah plat baja.
4. Melakukan external prestressing.
5. Menggunakan FRP (*Fiber Reinforced Polymer*).
6. *Self Compacting Concrete*.

Perkuatan (*strengthening*) merupakan suatu kegiatan yang bertujuan meningkatkan perilaku komponen atau struktur agar menjadi lebih kuat dibanding sebelumnya. Salah satu jenis perkuatan dan perbaikan yang bersifat *confinement* yang populer pada saat ini adalah *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) prinsip penambahannya mirip seperti plat baja. Tipe FRP yang sering dipakai pada perkuatan struktur adalah dari bahan carbon, aramid dan glass. Bentuk FRP yang sering digunakan pada perkuatan struktur adalah Plate/Composite dan Fabric/Wrap, Kelebihan yang dimiliki *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) *Sheet Jacketing* dibanding perkuatan yang lain

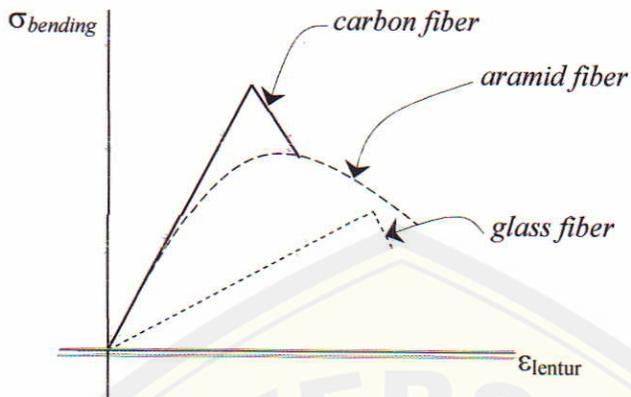
adalah mudah dikerjakan dan murah dalam segi estimasi, FRP berupa lembaran sehingga lebih ringan dan fleksibel juga mudah dipasang mengikuti bentuk elemen struktur yang akan diperkuat.

2.2.1 *Confinement Fiber Reinforced Polymer*

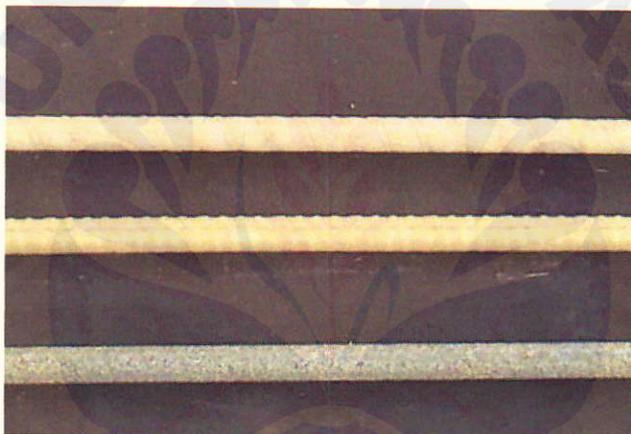
FRP merupakan suatu material komposit yang digunakan dalam konstruksi sipil. Bahan ini menggabungkan polimer resin, filler dan fiber. Resin yang digunakan adalah *polyester*, *vinylester* atau *epoxy* dan *filler* yang digunakan adalah *kaolin clay*, *calcium carbonate* dan *alumina*. Sedangkan *fiber* terdiri dari beberapa jenis seperti *glass*, *carbon*, dan *aramide*. CFRP merupakan serat polymer yang terbuat dari 3 unsur yaitu: *polyacrylonitrile (PAN) fiber*, *rayon fiber* dan *pitch* bentuk dapat dilihat pada gambar 2.3.

Ada beberapa kelebihan yang dimiliki CFRP antara lain (Sianipar 2009):

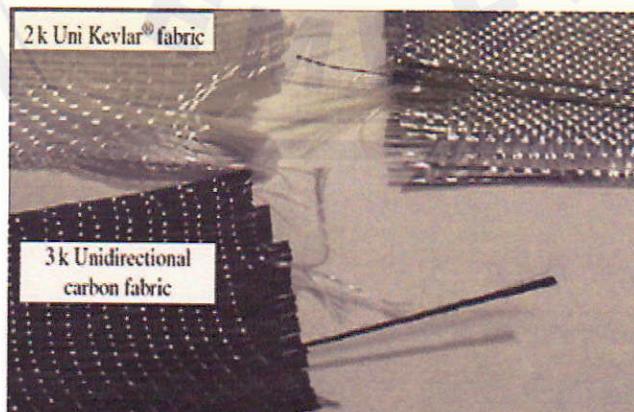
- a. Mempunyai kuat tarik lebih besar dibanding baja dan dibanding jenis fiber yang lain, CFRP ini kekuatan tariknya paling tinggi.
- b. Mempunyai modulus elastisitas yang cukup tinggi.
- c. Merupakan peredam panas yang cukup baik.
- d. Tahan terhadap korosi.
- e. Tahan terhadap relaksasi dan *fatigue*.
- f. Menghasilkan aksi komposit yang cukup bagus dengan beton *existing*.
- g. Ringan, mudah dikerjakan dan tidak memerlukan tempat yang luas.
- h. Distribusi kekuatannya tidak berubah.
- i. Bisa dilipat, mudah dibawa dan dapat dipesan dengan panjang berapapun.



Gambar 2.1 Perilaku tegangan-regangan FRP (Anis, 2006)



Gambar 2.2: Tipe tulangan FRP yang sering digunakan (Roberts, C.L., 2006)



Gambar 2.3: Bentuk FRP

Selain itu FRP juga bahan non korosi, netral terhadap gaya magnet jika dibandingkan terhadap baja, FRP punya kuat tarik lebih besar, modulus elastisitas kecil dan hubungan tegangan-regangan adalah elastis. FRP terdiri dari beberapa jenis seperti *bar*, *wrap*, *grid* dan *strip*. Untuk struktur baru digunakan FRP bar sebagai pengganti baja tulangan. FRP dengan jenis *wrap* lebih banyak dipakai pada kolom sedangkan jenis *sheet* atau *strip* biasa digunakan pada balok, pelat dan kolom (Sianipar, 2009).

FRP dengan jenis *grid* digunakan untuk perkuatan pelat. Pengembangan penggunaan FRP pada rekayasa sipil terdiri dari dua bagian, pertama untuk rehabilitasi dan perbaikan struktur dan kedua untuk pembuatan konstruksi baru yang sepenuhnya menggunakan FRP ataupun komposit dengan beton. Penggunaan FRP dalam perkuatan struktur antara lain pada balok, pelat, jembatan, kolom. Pemakaian CFRP pada suatu konstruksi biasanya disebabkan oleh beberapa hal yaitu (Sianipar, 2009):

1. Terjadinya kesalahan pada perencanaan.
2. Adanya kerusakan-kerusakan dari bagian struktur sehingga dikhawatirkan tidak berfungsi sesuai dengan yang diharapkan.
3. Adanya perubahan fungsi pada sistem struktur dan adanya penambahan beban yang melebihi beban rencana.

Kekurangan yang dimiliki CFRP yaitu:

- a. Makin tinggi kekuatan tarik yang dimiliki makin menurun modulus elastisitasnya.
- b. Lebih getas dibanding FRP jenis Aramid (Gambar 2.1)

Tabel 2.1. Spesifikasi Material CFRP (Anis,2006)

Spesifikasi	Carbon Fiber Reinforced Polymer		
	High Strength	High Modulus	Ultra-High Modulus
Jenis produk			
Kuat tarik (MPa)	3.800	1.790	1.030 – 1.310
Regangan ultimat	1,55 %	0.5 %	0.2 %
Modulus elastisitas (MPa)	240.000	370.000	520.000 – 620.000
Density (g/cm³)	1.7	1.9	2.0 – 2.1

2.2.2 Alasan Menggunakan CFRP

Carbon fiber lebih baik digunakan dibanding aramid fiber dan glass fiber.

Dilihat dari kekuatan dan elastisitasnya yang jauh lebih bagus dari kedua bahan lain.

Ini dapat dilihat dari tabel, yaitu :

Tabel 2.2: Perbandingan performance *FRP*

Performance	Carbon	Aramid	Glass
Alkaline Resistant	Good	Good	Bad
UV Resistant	Yes	No	yes
Electrical Conductivity	Yes	No	No
Compressive vs tensile Strength	Close to	Lower	Close to
Elastic Modulus vs Steel	Similar	Lower	Lower
Melting Point	650C 0	200C 0	1000C 0
Creep Rupture	Best	Moderate	Bad

Banyak alasan mengapa diperlukan kekuatan tambahan untuk struktur beton bertulang, yaitu (Sianipar, 2009) :

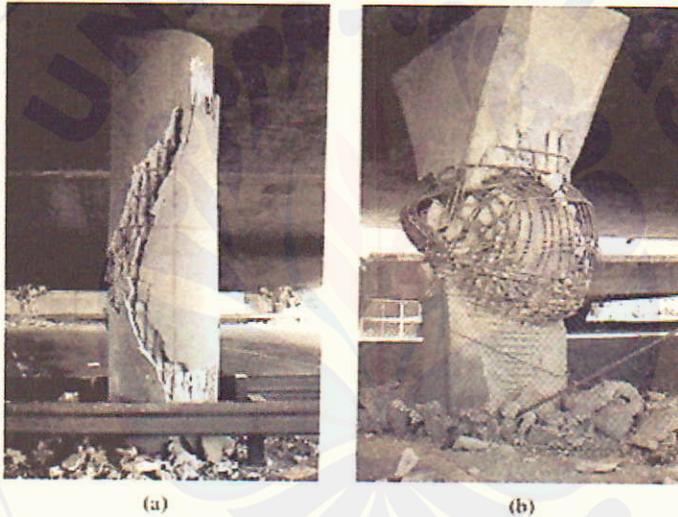
1. Kapasitas beban hidup bertambah, seperti pada jembatan yang selalu menerima beban pada kendaraan atau gedung yang dulunya dijadikan tempat tinggal kemudian diganti untuk kepentingan umum.
2. Melakukan penambahan kebutuhan bangunan diluar dari desain yang dibuat atau kesalahan dalam merancang.
3. Memperbaiki kekuatan terhadap gempa, yang mana memberikan lapisan tambahan terhadap beton akibat tegangan, atau penambahan secara terus-menerus diantara lapisan.
4. Menganti perkuatan atau menambah zat pasca perkuatan, seperti dampak dari kerusakan atau menutup (menghilangkan) korosi.

Dari semua kasus tersebut penambahan perkuatan pada bangunan dilakukan pada bagian bangunan yang menerima beban hidup karena hal itu sangat membantu dalam kelangsungan bangunan.

2.2.3 Fungsi CFRP.

Pada penggunaannya, CFRP fungsinya (Anis, 2006) adalah :

1. Meningkatkan kekuatan kompresi dari kolom sirkular.
2. Meningkatkan kekuatan geser total kolom beton.
3. Meningkatkan kekuatan lentur (*flexural*) dari kolom beton.
4. Menutup kondisi kolom yang sudah mengalami retak, retak sebelum diberikan bahan ini.
5. Mengganti tulangan yang hilang.



Gambar 2.4: Bentuk kolom yang rusak, (a) rusak sebagian, (b) rusak keseluruhan

2.2.4 Pekerjaan Sebelum Pemasangan.

Dengan adanya tuntutan bahwa bangunan yang mengalami kerusakan harus sudah dapat secepatnya difungsikan kembali, maka perlu adanya penanganan terhadap kerusakan-kerusakan yang terjadi, baik dengan melakukan perbaikan ataupun perkuatan. Seringkali dengan terbatasnya waktu, maka perbaikan atau perkuatan yang dilakukan tidak memperhatikan beberapa kaidah yang berkaitan dengan kapasitas struktur dan prosedur pelaksanaan serta kontrol kualitas. Oleh sebab itu untuk mendapatkan hasil perbaikan dan perkuatan yang tepat guna dan mencapai

sasaran yang telah ditetapkan, maka perlu dilakukan investigasi untuk mendapatkan data-data kerusakan baik melalui pengamatan visual ataupun dengan bantuan pengujian non-destruktif maupun semi destruktif dan mereview dokumen dari struktur yang ada. Dari hasil investigasi tersebut, kemudian dilakukan analisa dan evaluasi pada struktur tersebut untuk menetapkan apakah kerusakan yang terjadi hanya perlu perbaikan atau perlu perkuatan atau dalam kondisi yang terjelek struktur yang mengalami kerusakan harus dilakukan pembongkaran dan dibangun struktur baru (Sianipar, 2009).

a. Investigasi

Tujuan dari investigasi adalah :

1. Mendapatkan gambaran yang lengkap dari lokasi dan besarnya kerusakan yang terjadi serta kemungkinan penyebabnya.
2. Memperoleh data-data struktur yang baik pada dimensi struktur; data material maupun data beban (mutu beton, mutu dan jumlah tulangan serta beban yang bekerja).
3. Mengetahui kondisi lingkungan pada sekitar struktur yang ada.

Data-data di atas dijadikan sebagai evaluasi, karena tanpa data-data yang benar dan akurat, maka rekomendasi perbaikan atau perkuatan hasil evaluasi akan tidak tepat serta tidak tercapai sasaran, maka itu diperlukan data-data yang benar-benar dari hasil investigasi hal ini dilakukan untuk mempermudah dan menunjang tahapan evaluasi yang akan dilakukan selanjutnya. Untuk mencapai tujuan di atas, maka harus dilakukan ;

1. Pengamatan secara visual (melakukan mapping disekitar kerusakan, dimensi dari struktur beton dll).
2. Memeriksa dokumen-dokumen yang ada, baik dokumen perencanaan, pelaksanaan, operasional maupun perawatan.

3. Melakukan testing-testing non destruktif yang diperlukan untuk melengkapi data-data investigasi.

Pada saat melakukan pengamatan secara visual, beberapa jenis kerusakan didapat adalah sebagai berikut :

1. Keretakan non struktur dan struktur.
2. Keropos (*honeycomb*).
3. Karat.
4. Lepasnya bagian beton (*spalling*).
5. Penurunan.

Penyebab kerusakan-kerusakan pada struktur bangunan, bisa diakibatkan oleh :

1. Kesalahan dalam perencanaan.
2. Kesalahan dalam pemilihan material.
3. Kesalahan pelaksanaan.
4. Pengaruh lingkungan sekitar (temperatur, kimia, beban dll).

Investigasi merupakan awal dari tahapan perbaikan atau perkuatan yang akan dilakukan dan merupakan tahapan yang sangat penting dalam menunjang dan mempermudah untuk melakukan evaluasi yang tepat, maka harus diusahakan untuk mendapatkan data-data yang maksimal.

b. Evaluasi

Setelah mendapatkan data-data dari hasil investigasi, maka dilakukan evaluasi untuk menentukan tindakan-tindakan apa yang akan diambil.

1. Penurunan kapasitas struktur (menurunkan beban operasional).
2. Melakukan perbaikan.
3. Melakukan perkuatan.
4. Melakukan pembongkaran.

Didalam menentukan salah satu tindakan di atas, maka harus dipertimbangkan beberapa aspek yaitu (Sianipar, 2009):

1. Masa layan struktur.
2. Kebutuhan struktur.
3. Keselamatan umum.
4. Batasan-batasan yang ada apabila dilakukan perbaikan atau perkuatan, misalnya waktu, biaya, keindahan dan kemudahan pelaksana.

Apabila ditentukan tindakan perbaikan atau perkuatan, maka evaluasi yang dilakukan selanjutnya adalah menentukan metode dan material perbaikan atau perkuatan.

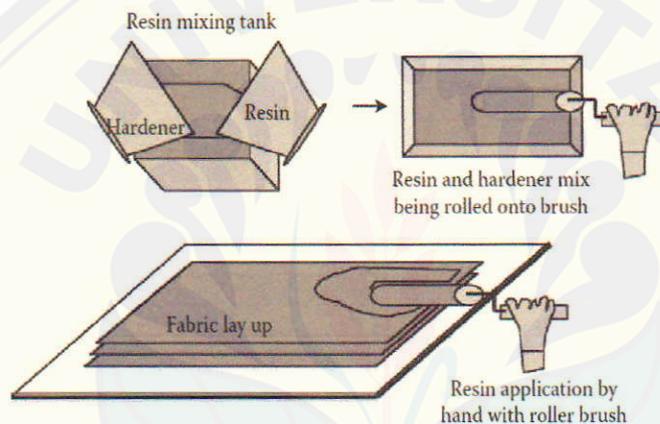
2.3 Pekerjaan Dan Pemasangan CFRP Pada Kolom

Sebelum dilakukan pemasangan material komposit FRP ini perlu adanya dilakukan koreksi. Selain karena perlu adanya koreksi, juga perlu dilakukan peninjauan terhadap kebutuhan pada waktu pemasangan seperti perlengkapan yang akan dipakai pada pemasangan agar keselamatan dan kenyamanan pada waktu pemasangan dapat terjamin.

2.3.1 Pekerjaan Pada CFRP

Semua peralatan yang digunakan dalam pengabungan dan pengerjaan pada pemasangan FRP serta material harus dijaga kebersihan dan perawatannya sehingga mendapatkan hasil yang baik. Pengerjaan semuanya dilakukan dengan bantuan alat. Pengerjaan dan mengaplikasikan untuk mengabungkan bahan dalam membentuk selubung, FRP ini harus sesuai dengan instruksi pabrik hal tersebut dapat dilihat dari panduan yang diberikan oleh perusahaan tersebut. Jumlah material pencampuran dilakukan hanya sekali saja tidak boleh melebihi jumlah yang ditentukan, seperti volume yang terlalu banyak hal ini dapat mempengaruhi tingginya temperatur pada waktu dilakukan pencampuran sehingga dapat merusak struktur pencampuran. Resin

atau perekat terlebih dahulu diaduk agar struktur perekat tersebut merata kemudian resin dioleskan kepada permukaan kolom. *Resin* atau perekat tersebut berfungsi untuk menyatukan *wrap* CFRP dengan kolom beton. Bahan ini memiliki daya rekat yang kuat terhadap geser dan mampu memberikan rekatan terhadap CFRP akibat beban anaksial yang besar. *Resin* yang digunakan adalah *epoxy* dengan ketebalan olesan berkisar antara 1,5-2,0 mm dengan menggunakan roller dan ukuran ini cukup ideal untuk dibuat (Sianipar, 2009). Jenis perekat ini tidak bersifat permanen atau mudah untuk dilepaskan dengan menggunakan *scrab* dan bahan pelarut.

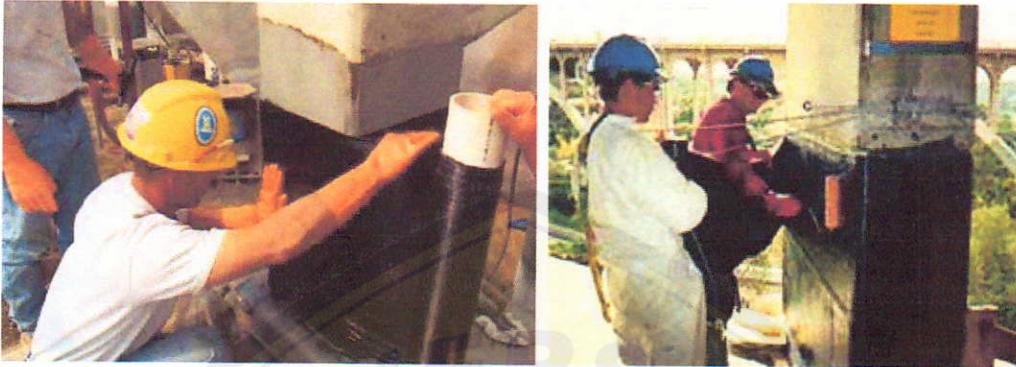


Gambar 2.5 Metode pengolesan resin pada CFRP.

2.3.2 Pekerjaan Pemasangan CFRP pada Daerah Struktur

Sebelum dipasangkan ke kolom *wrap* CFRP ini terlebih dahulu dipotong dengan menggunakan alat pemotong. Alat pemotong material ini cukup sederhana, hanya dengan menggunakan gunting pemotong fiber atau dalam skala yang besar dengan menggunakan mesin pemotong fiber (Sianipar, 2009).

Setelah dilakukan pemotongan pada fiber untuk mendapatkan ukuran yang tepat pada kolom, material tersebut kemudian dipasangkan ke kolom dengan konvensional atau dengan mesin untuk daerah kolom yang lebih besar dan luas.



Gambar 2.6 : Pemasangan CFRP pada daerah berbahaya yang sudah diolesi resin atau perekat (*epoxy*) (Sianipar, 2009)

Agar bahan tersebut terikat dengan erat antara FRP tersebut dengan permukaan beton maka dipakai *epoxy*. *Epoxy* merupakan bahan perekat yang sangat kuat. Untuk jenis perekat ini ada dua macam dalam pemasangannya, yaitu:

- *Dry system* (FRP tidak perlu dijenuhkan dulu dengan *epoxy*)
- *Wet system* (FRP harus dijenuhkan dulu dengan *epoxy* mesin saturator)

Untuk menentukan sistim mana yang akan digunakan, tergantung dari banyaknya fiber per meter. Pada umumnya FRP dengan banyaknya fiber kurang dari 300 gr/mm menggunakan *dry system* dan sebaliknya menggunakan *wet sistem*. Adapun gambar yang memperlihatkan proses pemasangan CFRP pada area struktur dapat dilihat pada gambar 2.6 dan gambar 2.7



Gambar 2.7 : Mesin alat pemasang CFRP kolom bulat (Perumalsamy, 2009)

2.3.3 Lokasi Kegagalan Pada Daerah Struktur Kolom

Lokasi untuk tiga mode kegagalan ditunjukkan pada Gambar 2.8 dan 2.9 untuk single dan double perletakan, berturut-turut. Berikut ini adalah poin-poin penting:

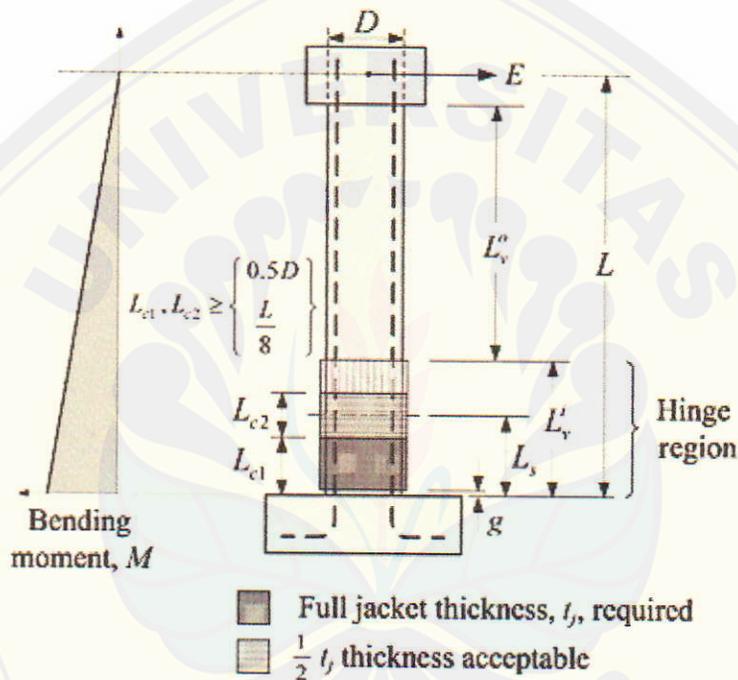
- Kekuatan geser diperlukan untuk seluruh panjang kolom, kecuali untuk celah kecil di pijakan atau kepala balok. perlakuan ini diperlukan untuk memungkinkan engsel rotasi tanpa bertambahnya kekuatan atau kekakuan. Dalam kasus carbon FRP atau glass FRP, perlakuan ini bisa sekecil 1 in atau kurang dari itu, tergantung pada ketebalan jaket FRP.
- Panjang di mana penguatan geser yang dibutuhkan adalah ditunjuk sebagai L_v . panjang ini dibagi ke dalam L_v^i dan L_v^o mewakili daerah geser-kritis di dalam dan di luar engsel lokasi, masing-masing. besarnya direkomendasikan untuk L_v^i adalah 1,5 kali dimensi kolom dalam arah pembebanan.
- Daerah balutan *confinement* primer dan sekunder ditujukan sebagai L_{c1} dan L_{c2} , masing-masing. Daerah balutan *confinement* sekunder dibutuhkan untuk menghindari pembentukan sebuah engsel di akhir utama engsel tinggi. Jika D adalah dimensi kolom dalam pemuatan arah dan L adalah tinggi efektif kolom:

$$L_{c1} \text{ dan } L_{c2} \geq \left\{ 0,5.D \text{ dan } \frac{L}{8} \right\}$$

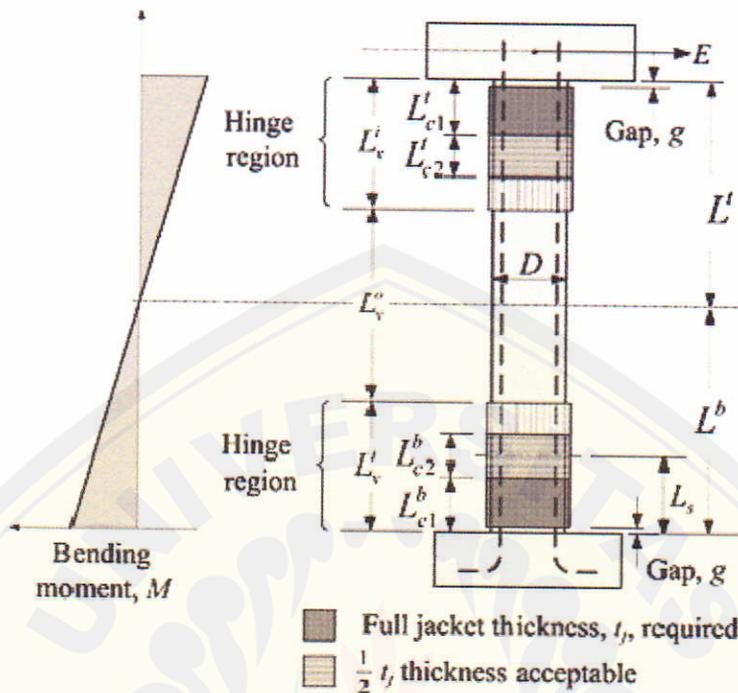
Ketinggian yang efektif, L , single dan double bending ditandai dalam gambar 2.8 dan gambar 2.9 Perhatikan bahwa bergantung panjang tergantung pada kedua ukuran kolom dan ruang geser.

- Confinement FRP untuk panjang sambungan putaran “lap-spliced” (tupang tindih), L_s , harus lebih besar dari nilai panjang sebenarnya balutan. panjang ini, bagaimanapun, harus melebihi panjang utama engsel, L_{c1} , oleh sedikitnya 50%.

Confinement FRP dibuat dari serat tinggi-kekuatan fiber dan matrix aplikasi pemasangan balutannya dapat menggunakan cara manual dan otomatis tergantung dari jenis kolom dan ukurannya, dalam menentukan jumlah FRP yang di butuhkan harus memperhatikan modulus elastisitasnya dan kegagalan renggangan, gambar desain perletakannya dapat dilihat di bawah:



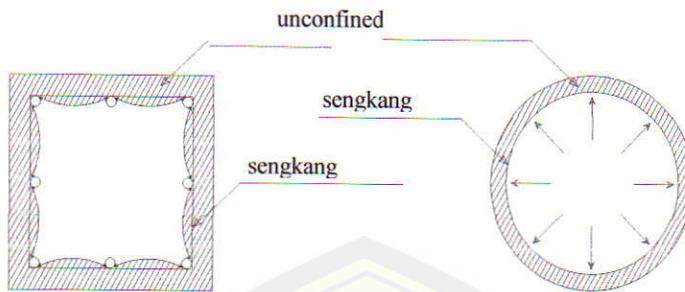
Gambar 2.8 Perletakan single bending (*FRP Composites for Reinforced and Prestressed Concrete Structures*, Perumalsamy. 2009)



Gambar 2.9 Perletakan double bending (FRP Composites for Reinforced and Prestressed Concrete Structures, Perumalsamy. 2009)

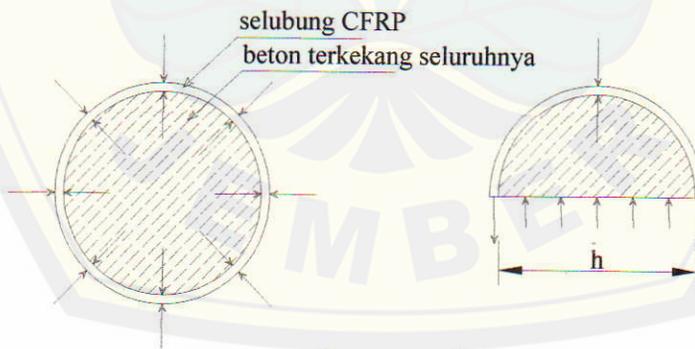
2.4 Pengekangan Pada Kolom

Penelitian mengenai beton bertulang yang terkekang menyebutkan bahwa beton yang diberi pengekangan mengalami peningkatan tegangan tekan dan regangan. Hal ini disebabkan oleh adanya gaya lateral tekan yang dihasilkan oleh kekangan terhadap beton tersebut. Tegangan lateral yang bekerja pada beton juga akan meningkatkan regangan ultimitnya. Deformasi lateral beton yang mulai mengalami keretakan terhambat dengan adanya tekanan reaksi dari pengekang. Pengekangan pada beton dapat berupa tulangan sengkang tertutup atau *hoops*. Bentuk pengekang sangat berpengaruh terhadap kekuatan dan daktilitas yang dihasilkannya. Lilitan sengkang bulat atau spiral memberikan tekanan kekang secara merata disekeliling inti beton yang terkekang (Gambar 2.10)

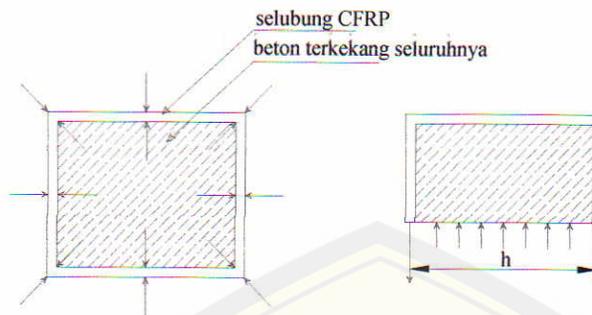


Gambar 2.10 Pengekangan dengan Sengkang

Lembaran CFRP yang dililitkan pada seluruh permukaan beton penampang bulat maupun persegi akan berfungsi sebagai pengekang pada beton yang dilingkupi termasuk selimut betonnya yang mana tidak terkekang oleh tulangan transversal. Hal ini juga akan menghindarkan *spalling premature* dari selimut beton (Anis, 2006).. Gaya pengekang tambahan ini disamping dari tulangan transversal baja akan meningkatkan daktilitas dan kekuatan geser penampang beton yang terkekang tersebut.



a. Penampang bulat



b. Penampang persegi

Gambar 2.11 Pengekangan dengan CFRP

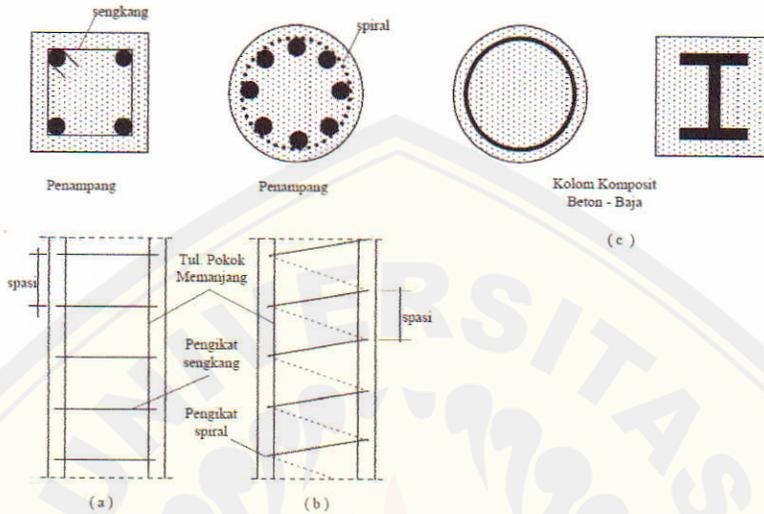
2.4.1 Jenis Kolom

Kolom adalah komponen struktur bangunan yang tugas utamanya menyangga beban aksial tekan vertikal dengan bagian tinggi yang tidak ditopang paling tidak tiga kali dimensi lateral kecil. Semua kolom selain dibebani aksial juga dibebani dengan momen yang ditimbulkan oleh kekangan ujung akibat pengecoran monolit dari balok-balok lantai dan kolom-kolom atau akibat eksentrisitas yang tidak terduga dari pengaturan yang kurang sempurna atau penggunaan mutu bahan yang berbeda-beda.

Berdasarkan bentuk dan susunan tulangan, kolom dapat dibagi menjadi tiga kategori seperti yang diperlihatkan pada gambar 2.12, yaitu (Dindi, 2008):

- 1) Kolom dengan pengikat sengkang lateral, kolom ini merupakan jenis kolom beton yang ditulangi dengan batang tulangan pokok memanjang pada jarak spasi tertentu diikat dengan pengikat sengkang ke arah lateral seperti gambar 2.12.a.
- 2) Kolom dengan pengikat spiral, tulangan pokok memanjang pada kolom ini diikat dengan tulangan spiral yang dililitkan keliling dengan ditempatkan secara terus menerus disepanjang kolom seperti tampak gambar 2.12.b.
- 3) Struktur kolom komposit, merupakan jenis kolom yang diperkuat pada arah memanjang dengan gelagar profil baja struktur, pipa atau tube, dengan tanpa

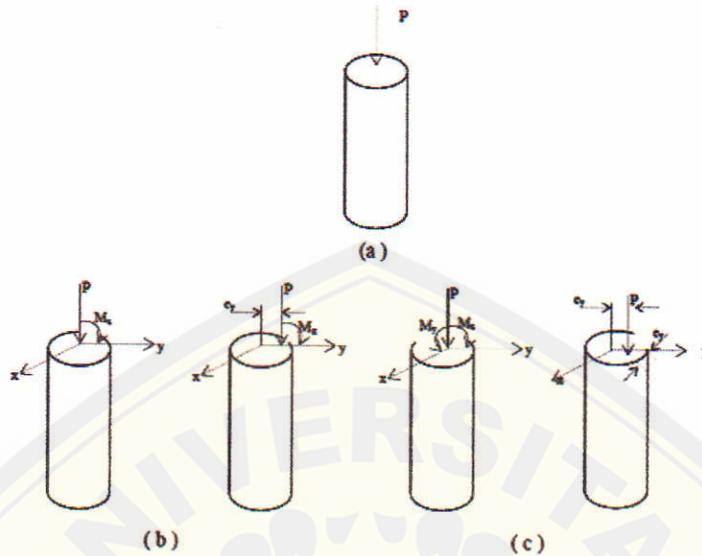
diberi batang tulangan pokok memanjang tambahan seperti tampak gambar 2.12.c



Gambar 2.12 Jenis kolom berdasarkan bentuk dan susunan tulangannya

Berdasarkan posisi beban terhadap penampangnya, kolom dapat diklasifikasikan atas kolom dengan beban sentris dan kolom dengan beban eksentris seperti tampak pada gambar 2.13, yaitu:

- 1) Kolom dengan beban sentris. Kolom ini tidak mengalami momen lentur dengan kondisi seperti ini sangat jarang dijumpai, seperti gambar 2.13.a.
- 2) Kolom dengan beban eksentris, kolom ini akan mengalami momen lentur selain juga gaya aksial momen ini dapat dikonversikan menjadi suatu beban 'P' dengan eksentrisitas 'e' momen lentur ini dapat bersumbu tunggal (uniaksial) dan dapat bersumbu rangkap (biaksial), yaitu apabila lenturnya terjadi pada sumbu 'X' dan 'Y' seperti terlihat pada gambar 2.13.b dan gambar 2.13.c.



Gambar 2.13 Jenis kolom berdasarkan posisi beban dan penampang melintang.

Berdasarkan panjang kolom dalam hubungannya dengan dimensi lateralnya, kolom dapat dikalsifikasikan atas kolom panjang dan kolom pendek. Perbedaan antara kedua kolom ini terdefinisi dengan menggunakan perbandingan panjang efektif ' kl ' dengan jari-jari girasi ' r '. Tinggi ' l ' adalah panjang tak tertumpu kolom dan ' k ' adalah faktor yang tergantung pada kondisi ujung kolom, dan kondisi apakah ada penahan deformasi lateral atau tidak.

2.4.2 Persyaratan Penulangan Kolom

Peraturan ACI mensyaratkan banyak batasan pada dimensi, tulangan, kekangan lateral dan hal lain yang berhubungan dengan kolom beton, beberapa batasan yang penting diberikan:

- a) Persentase tulangan longitudinal tidak boleh kurang dari 1% luas bruto penampang kolom (ACI 10.9.1). diperkirakan bahwa jika jumlah tulangan kurang dari 1% kemungkinan akan terjadi keruntuhan non daktil yang mendadak, seperti yang dapat terjadi pada kolom beton murni, dan akan

mengurangi rangkai dan susut dan memberikan kekutan lentur pada kolom (Jack C. Mc Cormac, 2004)

- b) Persentase tulangan maksimum tidak boleh lebih besar 8% luas bruto penampang kolom (ACI 10.9.1). Nilai ini diberikan untuk mencegah tulangan yang terlalu rapat. Jika persentase tulangan terlalu tinggi, kemungkinan terbentuknya honeycomb (rongga-rongga) dalam beton meningkat dengan pasti. Biasanya persentase tulangan tidak boleh lebih dari 4% jika tulangan disambung secara “lap-spliced” (tumpang tindih). Perlu diingat bahwa persentase tulangan tersebut sangat tinggi tulangan tersebut dapat diikat/digabung (Jack C. Mc Cormac, 2004).
- c) Jumlah tulangan longitudinal minimum yang diizinkan untuk batang tekan (ACI 10.9.2) adalah sebagai berikut: 4 untuk tulangan dengan sengkang persegi atau lingkaran, 3 untuk tulangan dengan sengkang segi tiga, dan 6 untuk sengkang spiral.
- d) Peraturan ACI (7.10.4) menyatakan bahwa jarak bersih spiral tidak boleh kurang dari 1 in (2.54 cm) atau lebih dari 3 in (7.62 cm). jika sambungan diperlukan dalam spiral, sambungan tersebut dilakukan dengan las atau lapping tulangan atau kawat sepanjang 48 diameter atau 12 in (30.48 cm).

2.4.3 Pengaruh Sengkang Terhadap Kolom

Sengkang akan memberikan pengaruh pada kuat tekan kolom dan regangan tekan beton pada daerah tekan kolom tersebut. Tegangan lateral efektif maksimum (f_l), yang diberikan oleh sengkang terjadi pada saat sengkang tersebut sudah mengalami leleh.

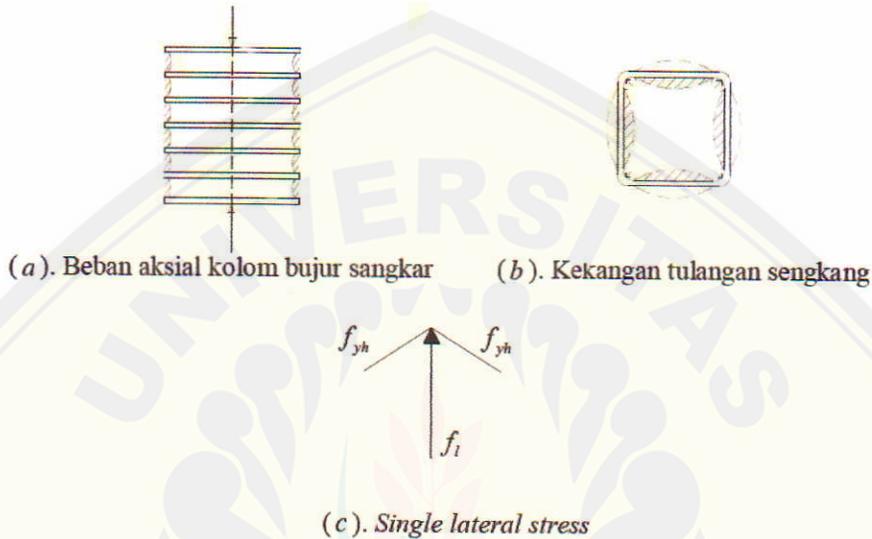
Dari *freebody* tulangan sengkang maka diperoleh f_l sebagai berikut:

$$f_l = \frac{2 \cdot f_{yh} \cdot A_{sp}}{s \cdot D'} \quad (2.1)$$

Dimana:

f_{yh} = Tegangan leleh tulangan sengkang.

- A_{sp} = Luas tulangan sengkang.
 D' = Diameter kolom yang terkekang oleh tulangan sengkang.
 s = Jarak (spacing) tulangan sengkang pada kolom.



Gambar 2.14 : Diagram *freebody* untuk kolom

Nilai dari f_l dipengaruhi oleh jarak longitudinal tulangan sengkang, diameter, dan tegangan lelehnya. Pertambahan kuat tekan beton akan disebabkan karena pengaruh tulangan sengkang (f'_{cc}) dengan kuat tekan beton tak terkekang (f'_c) adalah sebagai berikut:

$$f_{cc} = f'_c + 4,1 \cdot f_l \quad (2.2)$$

dengan mensubstitusi persamaan 2.1 ke persamaan 2.2 didapatkan nilai kuat tekan akibat kekangan tulangan transversal ACI Committee adalah sebagai berikut:

$$f_{cc} = f'_c + \frac{8,2 \cdot F_{yh} \cdot A_{sp}}{s \cdot D'} \quad (2.3)$$

2.4.4 Spiral

Bentuk lain tulangan melintang adalah spiral atau tulangan lateral helikal, tulangan ini khususnya digunakan untuk meningkatkan daktilitas kolom sehingga

merupakan bentuk tulangan lateral yang sering digunakan pada daerah dengan resiko gempa tinggi. Karena itulah jarak dan ukuran spiral harus direncanakan untuk mampu memikul sebagian besar kapasitas kolom sekalipun dalam kondisi pembebanan yang jarang, seperti gempa.

Tulangan spiral yang mempunyai jarak cukup dekat dapat menambah kapasitas beban batas pada kolom. Jarak atau biasa disebut *pitch* spiral tersebut ditentukan sehingga kapasitas beban yang merupakan kontribusi dari aksi *confining* (aksi spiral untuk melindungi bagian inti kolom) spiral dapat menjadi kompensasi dari bagian beton di luar spiral yang lepas.

Dengan menyamakan penambahan kekuatan akibat adanya *confining* dengan hilangnya kapasitas beban akibat lepasnya selimut beton, ditambah dengan penggunaan faktor keamanan sebesar 1,2. Maka diperoleh angka penulangan spiral minimum ρ_s sebesar:

$$\rho_s = 0,45 \cdot \left(\frac{A_g}{A_c} - 1 \right) \cdot \frac{f'_c}{f_{sy}} \quad (2.4)$$

Dimana

$$\rho_s = \frac{\text{Volume tulangan spiral tiap satu putaran}}{\text{Volume beton yang terkandung pada satu putaran}}$$

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

$$A_g = \frac{\pi \cdot h^2}{4}$$

h = Diameter kolom

a_s = Luas penampang melintang spiral

d_b = Diameter nominal tulangan spiral

D_c = Diameter inti beton dari tepi ke tepi spiral

f_{sy} = Kekuatan leleh tulangan spiral

untuk menentukan *pitch s* dari spiral, hitungan ρ_s menggunakan persamaan 2.4 kemudian pilih diameter tulangan spiral d_b , dan hitung a_s , peroleh s tersebut dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\rho_s = \frac{a_s \cdot \pi \cdot (D_c - d_b)}{\left(\frac{\pi}{D}\right) \cdot D_c^2 \cdot s}$$

Karena itu

$$\begin{aligned} \text{pitch } s &= \frac{a_s \cdot \pi \cdot (D_c - d_b)}{\left(\frac{\pi}{D}\right) \cdot D_c^2 \cdot \rho_s} \\ s &= \frac{4 \cdot a_s \cdot (D_c - d_b)}{D_c^2 \cdot \rho_s} \end{aligned} \quad (2.5)$$

2.4.5 Kekuatan Kolom Eksentrisitas Kecil

Pada kolom dengan eksentrisitas kecil, perhitungan teoritis menghasilkan tegangan tekan merata pada permukaan penampang melintangnya. Kuat beban aksial nominal atau teoritis pada suatu kolom dengan kondisi pembebanan tanpa eksentrisitas dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$P_o = 0,85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \quad (2.6)$$

Dengan

- A_g = luas kotor penampang lintang kolom (mm^2)
- A_{st} = luas tulangan sengkang (mm^2)
- P_o = kuat tekan aksial nominal tanpa eksentrisitas (N)
- f_y = tegangan leleh baja (Mpa)
- $f'c$ = kuat tekan beton (Mpa)

Dalam peraturan ditentukan hubungan dasar antara beban dengan kekuatan, sebagai berikut :

$$P_u \leq \phi P_n \quad (2.7)$$

Dengan

- P_u = beban aksial terfaktor dengan eksentrisitas

P_n = kuat beban aksial nominal dengan eksentrisitas

ϕ = faktor reduksi kekuatan

Sehingga pada kasus beban aksial tanpa eksentrisitas, ' P_n ' menjadi sama dengan ' P_o '.

Dalam peraturan, SK SNI T 03-2847-2002 memberikan ketentuan bahwa pada kolom dengan pengikat spiral, kekuatan nominal kolom direduksi sebesar 15%, sedangkan untuk kolom dengan pengikat sengkang, kekuatan nominal kolom direduksi sebesar 20%, sehingga rumus kuat beban aksial maksimum menjadi :

Untuk kolom dengan penulangan spiral :

$$\phi P_{n(max)} = 0.85 \phi \{0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} \quad (2.8)$$

Untuk kolom dengan penulangan sengkang :

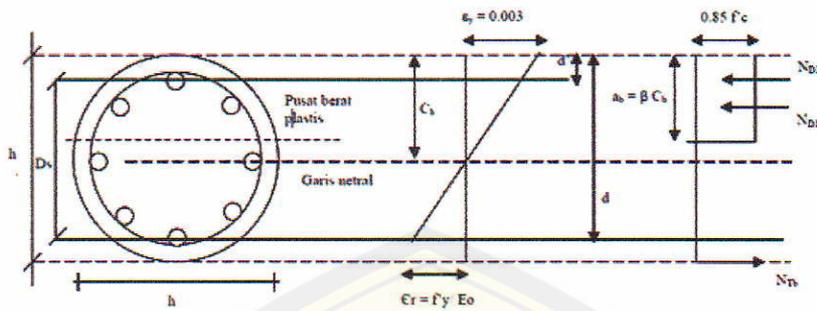
$$\phi P_{n(max)} = 0.80 \phi \{0.85 f'c (A_g - A_{st}) + f_y A_{st}\} \quad (2.9)$$

Batas luas tulangan longitudinal kolom (A_{st}) adalah minimum 0.01 dan maksimum 0.08 dari luas bruto (A_g) tampang kolom. Rasio luas penulangan terhadap beton harus berada dalam batas tersebut.

2.4.6 Keadaan Rengangan Berimbang Kolom.

Keadaan regangan berimbang terjadi apabila pada saat yang bersamaan tulangan tarik baja mengalami regangan leleh (ϵ_y) dan beton mengalami regangan hancur sebesar 0,003.

Kondisi keseimbangan regangan menempati posisi penting karena merupakan pembatas antara dua keadaan penampang kolom beton bertulang yang berbeda dalam cara hancurnya, yaitu hancur karena tarik dan hancur karena tekan. Dengan demikian keadaan berimbang memberikan titik pembagian daerah antara tekan menentukan dan tarik menentukan dari diagram interaksi kekuatan.



Gambar 2.15 Keadaan Regangan Berimbang Penampang Kolom Lingkaran.

Dengan menggunakan penampang kolom lingkaran dalam gambar 2.15 keadaan renggangan berimbang memberikan:

$$\frac{Cb}{d} = \frac{0,003}{\frac{fy}{Es} + 0,003} \quad (2.10)$$

Jika $Es = 200.000$ Mpa, didapat

$$Cb = \frac{0,003d}{0,003 + \frac{fy}{200.000}} = \frac{600d}{600 + fy} \quad (2.11)$$

Keseimbangan gaya-gaya mensyaratkan,

$$Pb = ND1b + ND2b + NTb \quad (2.12)$$

Dengan $ND1b = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot ab = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot \beta_1 \cdot Cb$

$$ND2b = As' \cdot f'y - As' \cdot fs'$$

$$NTb = As \cdot fy$$

Maka beban aksial nominal Pb dan momen Mb pada kondisi seimbang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Pb = 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot ab + As' \cdot fs' - As \cdot fy \quad (2.13)$$

$$ND1b = Pb \cdot eb$$

$$\equiv 0,85 \cdot f'c \cdot b \cdot ab \cdot \left(y - \frac{ab}{2}\right) + As' \cdot fs' \cdot (y - d') + As \cdot fy \cdot (d - y) \quad (2.14)$$

Dengan y adalah jarak tepi tertekan ke pusat plastis atau pusat geometris dan fs' adalah

$$f_s' = 0,003.E_s. \frac{Cb - d'}{Cb} \leq f_y \quad (2.15)$$

Dengan

- Cb = Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral (mm).
- d = Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik (mm).
- d' = Tebal selimut beton (mm).
- b, h = Lebar daerah inti beton terkekang, di ukur dari as ke as sengkang terluar dalam arah x dan y (mm).
- a_b = Tinggi blok tegangan ekuivalen (mm).
- A_s = Luas tulangan tarik (mm).
- A_s' = Luas tulangan tekan (mm).
- e = Eksentrisitas (mm).
- e_b = Eksentrisitas pada kondisi balance (mm).

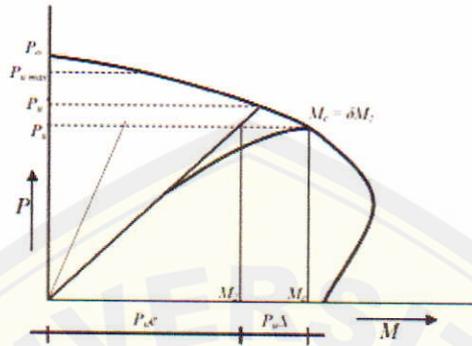
2.5 Kolom Langsing

2.5.1 Struktur Kolom Langsing

Suatu kolom digolongkan langsing apabila dimensi atau ukuran penampang melintangnya lebih kecil dibandingkan dengan tinggi bebasnya (tinggi yang tidak ditopang). Kolom langsing yang menahan kombinasi beban aksial dengan lentur akan mendapatkan momen lentur tambahan (momen sekunder) akibat efek $P\Delta$ dan mengalami deformasi kearah lateral, dengan P adalah beban aksial dan Δ adalah defleksi kolom tertekuk kearah lateral pada penampang yang ditinjau.

Suatu kolom langsing yang menahan gaya aksial P_u dan eksentrisitas e . Diagram interaksinya seperti diperlihatkan pada gambar 2.16 tampak dengan adanya efek tekuk mengakibatkan momen lentur tambahan $P_u \Delta$. Momen lentur tambahan atau disebut momen sekunder, akan mengakibatkan kapasitas gaya normal menurun atau mengecil dari P_u' menjadi P_u , dengan demikian jumlah momen menjadi $P_u e + P_u \Delta$. Selanjutnya tinjauan kekuatan didasarkan pada momen yang sudah dibesarkan.

Gaya P_u bekerja dengan eksentrisitas $(e + \Delta)$ sehingga menghasilkan M_{total} dengan nilai banding M_{total} terhadap M_{asal} disebut δ , atau faktor pembesaran momen



Gambar 2.16 Pengaruh pembesaran momen pada diagram interaksi

Tingkat kelangsingan suatu struktur kolom dinyatakan sebagai rasio kelangsingan

$$K = \frac{lu}{r}$$

dengan :

K = faktor panjang efektif

Lu = panjang komponen struktur yang tidak ditopang

r = jari-jari putaran (radius of gyration) potongan lintang komponen

struktur tekan. Ditetapkan $r = 0,30 h$ dengan h ukuran dimensi kolom persegi pada arah bekerjanya momen, atau $r = 0,25 D$ dengan D adalah diameter kolom bulat (SK SNI T 03-2847-2002 pasal 3.3.1.1.2(3)).

2.5.2 Batas Kelangsingan

Sejauh ini pembahasan mengenai analisis dan perencanaan kolom terbatas pada kolom pendek, yang mana tidak termasuk mempertimbangkan kemungkinan terjadinya tekuk pada kolom. Peraturan tidak memberikan definisi batas panjang maksimum kolom pendek, tetapi menetapkan digunakannya suatu proses evaluasi kelangsingan pada batas nilai rasio kelangsingan tertentu.

Batas nilai rasio kelangsingan yang dimaksud adalah sebagai berikut :

1. Untuk komponen struktur tekan yang ditahan terhadap goyangan kesamping, pengaruh dari kelangsingan dapat diabaikan jika :

$$\frac{klu}{r} < 34-12 \cdot \frac{M_{1b}}{M_{2b}} \tag{2.16}$$

Dengan M_1 dan M_2 masing-masing adalah momen ujung yang terkecil dan terbesar pada unsur.

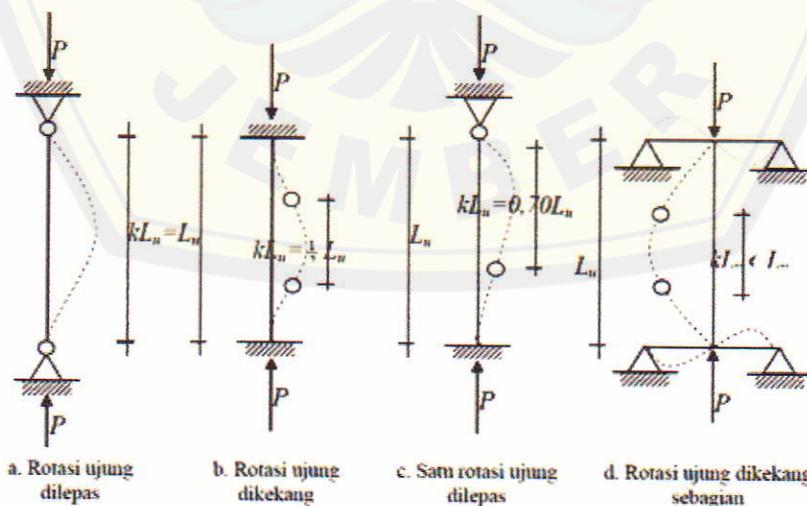
2. Untuk komponen struktur tekan yang tidak ditahan terhadap goyangan kesamping, pengaruh dari kelangsingan dapat diabaikan jika :

$$\frac{klu}{r} < 22 \tag{2.17}$$

Untuk semua unsur-unsur tekan dengan klu/r yang melebihi 100, diperlukan analisis yang lebih mendalam.

2.5.3 Faktor Panjang Efektif

Panjang efektif kolom harus ditentukan untuk bermacam-macam kondisi pengekanjng ujung terhadap rotasi dan translasi. Untuk kondisi dengan translasi kedua ujung dicegah secukupnya (tanpa translasi titik buhul), jarak antara titik-titik balik diperlukan dalam gambar 2.17.



Gambar 2.17 Panjang ujung sendi ekuivalen (efektif) tanpa translasi titik buhul.

Besar faktor panjang efektif tahanan ujung k bervariasi antara 0,5 – 2,0 tergantung kondisinya, untuk keadaan tipikal adalah sebagai berikut:

- | | |
|--|-----------|
| 1. Kedua ujung kolom sendi | $k = 1,0$ |
| 2. Kedua ujung kolom terjepit | $k = 0,5$ |
| 3. Satu ujung kolom terjepit, yang lain bebas | $k = 2,0$ |
| 4. Kedua ujung kolom terjepit, ada gerak lateral | $k = 1,0$ |

SK SNI T 03-2847-2002 pasal 3.3.11.2 (1) memberikan ketentuan untuk komponen struktur tekan yang dipotong dan tertahan terhadap goyangan kesamping, nilai k diambil 1,0 kecuali bila melalui suatu analisis perhitungan yang dihasilkan nilai yang lain.

2.6 Ragam Kegagalan Material Pada Kolom

Berdasarkan besarnya regangan pada tulangan baja yang tertarik penampang kolom dapat dibagi menjadi dua kondisi awal keruntuhan, yaitu:

1. Keruntuhan tekan, yang diawali dengan hancurnya beton yang tertekan
2. Keruntuhan tarik, yang diawali dengan lelehnya tulangan yang tertarik

2.6.1 Keruntuhan Tekan

Kolom akan mengalami keruntuhan tekan apabila kekuatan tekan P_n melampaui kekuatan berimbang P_b . Atau bila eksentrisitas e lebih kecil dari harga berimbang e_b . Pada kondisi ini terjadi keruntuhan diawali dengan hancurnya beton, adapun penyelesaiannya dengan pendekatan cara Whitney, yaitu:

$$P_n = \frac{A_s' \cdot f_y}{\left[0,5 + \frac{e}{d-a'}\right]} + \frac{b \cdot h \cdot f'c}{\left[1,18 + \frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2}\right]} \quad (2.18)$$

Metode Whitney menghasilkan solusi yang konservatif apabila beban rencana P_u mempunyai harga yang lebih tinggi dari pada beban berimbang P_b dan eksentrisitas e kecil.

2.6.2 Keruntuhan Tarik

Kolom akan mengalami keruntuhan tarik apabila kekuatan P_n lebih kecil dari harga berimbang P_b , atau eksentrisitas e lebih besar dari harga berimbang e_b . Pada kondisi ini terjadi keruntuhan diawali dengan melelehnya tulangan tarik.

Bila tulangan diletakan secara simetris ($A_s = A_s'$) dan tulangan tekan telah meleleh, maka :

$$P_n = 0,85.f'c.b.a_b \quad (2.19)$$

$$M_n = P_n.e$$

$$M_n \equiv 0,85.f'c.b.a_b.\left(\bar{v} = \frac{a_b}{2}\right) + A_s'.f_y.(y = d') + A_s.f_y. \quad (2.20)$$

Untuk $A_s = A_s'$ dan $y = \frac{h}{2}$ maka :

$$M_n = 0,85.f'c.b.a_b.\left(\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2}\right) + A_s'.f_y.(y = d') + A_s.f_y(d - y)$$

$$M_n = P_n.e = 0,85.f'c.b.a_b.\left(\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2}\right) + A_s.f_y.(d - d')$$

Bila e diketahui, maka :

$$P_n.e = P_n.\left(\frac{h}{2} - \frac{a_b}{2}\right) + A_s.f_y.(d - d')$$

Jika

$$a_b = \frac{P_n}{0,85.f'c.b}$$

Maka

$$P_n.e = P_n.\left(\frac{h}{2} - \frac{P_n}{1,7.f'c.b}\right) + A_s.f_y.(d - d')$$

Kemudian dibuat persamaan kuadrat :

$$\frac{P_n^2}{1,7.f'c.b} - P_n.\left(\frac{h}{2} - e\right) - A_s.f_y.(d - d') = 0$$

Sehingga :

$$P_n = 0,85.f'c.b.\left[\left(\frac{h}{2} - e\right) + \sqrt{\left(\frac{h}{2} - e\right)^2 + \frac{2.A_s.f_y.(d - d')}{0,85.f'c.b}}\right]$$

Jika

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c \cdot b} \quad \text{dan} \quad \rho = \rho' = \frac{A_s}{b \cdot d}$$

Maka persamaan untuk P_n dapat disusun ulang, dan diperoleh hasil sebagai berikut :

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \left[\left(\frac{h - 2 \cdot e}{2 \cdot d} \right) + \sqrt{\left(\frac{h - 2 \cdot e}{2 \cdot d} \right)^2 + 2 \cdot m \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \quad (2.21)$$

Selanjutnya proses perhitungan akan lebih mudah apabila keseimbangan momen diperhitungkan terhadap titik berat tulangan tarik sehingga eksentrisitas diperhitungkan sebagai berikut :

$$e' = \left[e + \left(d - \frac{h}{2} \right) \right]$$

$$\frac{h - 2 \cdot e}{2 \cdot d} \equiv 1 - \frac{e'}{d}$$

$$P_n = 0,85 \cdot f'_c \cdot b \cdot \left[\left(1 - \frac{e'}{d} \right) + \sqrt{\left(1 - \frac{e'}{d} \right)^2 + 2 \cdot m \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{d'}{d} \right)} \right] \quad (2.22)$$

2.7. Rumus Beton Terkekang Menggunakan Carbon Fiber Reinforced Concrete (CFRP)

2.7.1 Rumus Yang Digunakan Untuk Analisa Teoritis

Untuk melakukan analisis hubungan tegangan-regangan pada beton terkekang CFRP digunakan rumus-rumus dari beberapa hasil penelitian terdahulu antara lain:

1. Pulido dkk (2004)

Menurut Pulido (2004), pada saat regangan sebesar 0.002 maka tegangan yang terjadi adalah:

$$f_{co} = 9.4 \sqrt{f'_c} \text{ MPa} \quad (2.23)$$

Tegangan ultimit pada kolom persegi yang diberi pengekang CFRP:

$$f_{cu} = f'_c + 9,8 f_r^{0,7} \text{ MPa} \quad (2.24)$$

$$f_r = K_e \left[\left(\frac{E_j \varepsilon_j t_j}{d} \right) + \left(\frac{E_j \varepsilon_j t_j}{b} \right) \right] \quad (2.25)$$

dimana

K_e = faktor bentuk = 0.75 untuk persegi panjang

E_j = modulus elastisitas fiber

ε_j = regangan CFRP

t_j = tebal CFRP

d, b = dimensi beton yang dikekang

2. Fardis dan Khalili (1981)

Tegangan beton berpenampang bulat yang terkekang menggunakan CFRP:

$$f'_{cc} = f'_{co} \left[1 + k_1 \frac{f_l}{f'_{co}} \right] \quad (2.26)$$

dimana: $f'_{co} = f'_c$ = kuat tekan beton yang tidak terkekang

$$f_l = \frac{2f_L \times t_L}{D}$$

$$k_1 = 3.7 \left(\frac{f_l}{f'_{co}} \right)^{-0.14} \quad (2.27)$$

3. Mander, Priestley dan Park (1988)

Rumus beton berpengekang CFRP secara umum menurut Mander dkk (1988)

yaitu:

$$f'_{cc} = f'_{co} \left[2.254 \sqrt{1 + 7.94 \frac{f_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f_l}{f'_{co}} - 1.254 \right] \quad (2.28)$$

Pers. (2.43) dan (2.44) merupakan acuan didalam perumusan hubungan tegangan-regangan beton berpengekang CFRP oleh Komite ACI 440.

4. ACI Committee 440

Rumus beton terkekang CFRP pada ACI mengacu pada rumus Mander dkk dengan sedikit modifikasi, rumus tersebut sebagai berikut:

$$f'_{cc} = f'_{co} \left[2.25 \sqrt{1 + 7.9 \frac{f_l}{f'_{co}}} - 2 \frac{f_l}{f'_{co}} - 1.25 \right] \quad (2.29)$$

5. Karbhari dan Gao (1997)

Rumus yang di anjurkan karbhari dan Gao 1997 sebagai berikut :

$$f'_{cc} = f'_{c} \cdot \left(1 + 4.1 \cdot \left(\frac{t_{lu} \cdot f_{lu} \cdot n_{lu}}{D' \cdot f'_{c}} \right)^{0.87} \right) \quad (2.30)$$

Dimana

D' = Diameter kolom (mm)

n_{lu} = Jumlah lapisan FRP

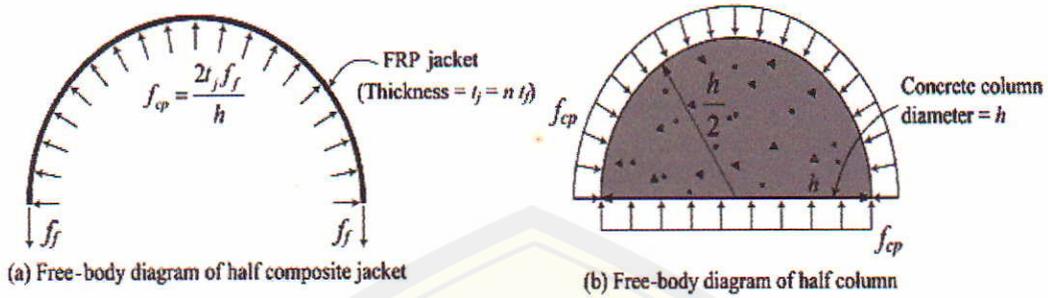
t_{lu} = Tebal FRP (mm)

f'_{lu} = Kuat tarik FRP (MPa)

f'_{c} = Mutu beton (MPa)

2.7.2 Analisa Beton Terkekang Carbon Fiber Reinforced Concrete (CFRP)

Dalam menganalisa tegangan-regangan beton terkekang CFRP ini, menggunakan analisa model tegangan-regangan beton terkekang yaitu :



Gambar 2.18 Tegangan yang terjadi pada penampang beton terkekang (Anis. 2006)

Adapun langkah melakukan analisa tegangan-regangan beton terkekang yaitu

- 1) Diketahui Rencana beton yang digunakan adalah beton kekuatan normal dengan f'_c Tulangan yang digunakan berupa tulangan utama D' berdiameter (mm) mutu f_y dan tulangan sengkang berdiameter (mm), mutu f_{ys} , Dan untuk CFRP Sika Wrap 230C t_L (mm), f_{LU} (MPa), dan E_j (MPa)
- 2) Menentukan tegangan lateral beton terkekang (f_l) / (f_{cp})

$$f_l = \frac{2 f_{LU} t_{LU}}{h} \quad (2.31)$$

dimana:

f_l = tegangan lateral beton terkekang (MPa)

f_{LU} / f_f = kuat tarik selubung pengekang (MPa)

t_{LU} / t_i = tebal selubung pengekang (mm)

h / D = diameter atau lebar penampang beton terkekang

- 3) Menghitung nilai tegangan beton terkekang maksimum (f'_{cc}) Nilai tegangan beton terkekang maksimum (f'_{cc}) ditentukan dari rumus Pulido, Mander, Fardis, ACI Committee 440 dan Karbhari, Gao. Setelah dapat f_{cc} dipergunakan untuk perhitungan dari kolom kapasitas kekuatan di sekitar axis. Satu bilangan tetap dari ψ_f direkomendasikan untuk berwujud kontribusi. Nilai direkomendasikan untuk ψ_f adalah 0.95. Untuk anggota nonprestressed.

- 4) Kapasitas nominal dari satu kolom dapat dihitung mempergunakan persamaan yang direkomendasikan di ACI kode (Komite ACI 440, 2002) yaitu:

Untuk perkuatan kolom dengan tulangan spiral :

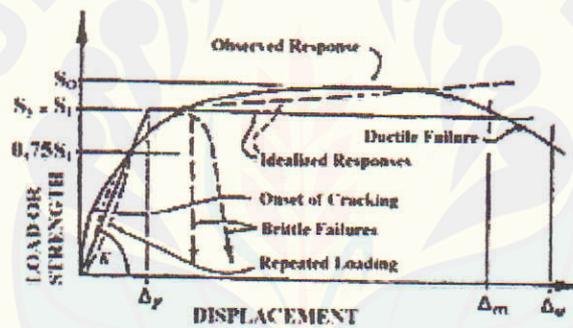
$$P_n = 0,85 [0,85 \cdot f'_{cc} \cdot \psi_f \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \quad (2.32)$$

Untuk perkuatan kolom dengan tulangan lateral :

$$P_n = 0,80 [0,85 \cdot f'_{cc} \cdot \psi_f \cdot (A_g - A_{st}) + A_{st} \cdot f_y] \quad (2.33)$$

2.8 Daktilitas

Daktilitas adalah Kemampuan sebuah struktur atau komponen untuk menahan respon inelastik, termasuk lendutan terbesar dan menyerap energi.



Gambar 2.19 Hubungan beban – lendutan

Pada dasarnya daktilitas dibagi atas beberapa jenis. Hal ini terjadi karena adanya beberapa pengertian yang timbul. Pengertian daktilitas dapat ditinjau dari tiga jenis metode perhitungan. Daktilitas dapat ditinjau dari segi regangan (*strain*), lengkungan (*curvature*), dan lendutan (*displacement*) (Laode, 2010).

a. Daktilitas regangan (*Strain Ductility*)

Pengertian dasar dari daktilitas adalah kemampuan dari material atau struktur untuk menahan regangan plastis tanpa penurunan yang drastis dari tegangan. Dapat dilihat pada Gambar 2.19 daktilitas regangan dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$\mu_{\epsilon} = \frac{\epsilon}{\epsilon_y} \quad (2.34)$$

Dimana ϵ adalah total regangan yang terjadi dan ϵ_y adalah regangan pada saat leleh. Daktilitas yang sangat berpengaruh pada struktur dapat tercapai pada panjang tertentu pada salah satu bagian dari struktur tersebut. Jika regangan inelastik dibatasi dengan panjang yang sangat pendek, maka akan terjadi penambahan yang besar pada daktilitas regangan. Daktilitas regangan merupakan daktilitas yang dimiliki oleh material yang digunakan.

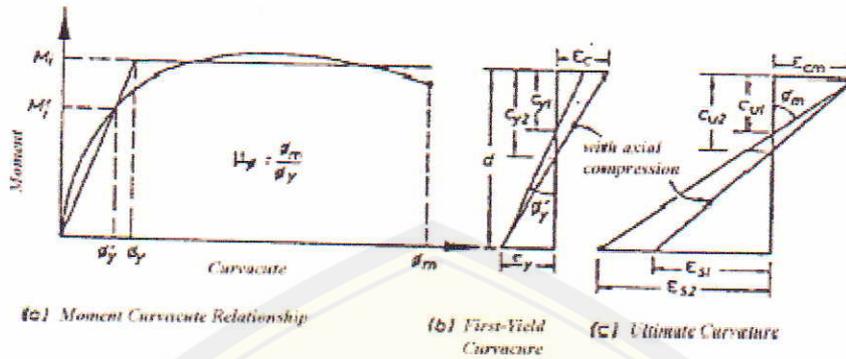
b. Daktilitas Lengkungan (*Curvature Ductility*)

Pada umumnya sumber yang paling berpengaruh dari lendutan struktur inelastis adalah rotasi pada sambungan plastis yang paling potensial. Sehingga, ini sangat berguna untuk menghubungkan rotasi per unit panjang (*curvature*) dengan moment bending ujung. Daktilitas lengkungan maksimum dapat ditunjukkan dalam persamaan berikut:

$$\mu_{\phi} = \frac{\phi_m}{\phi_y} \quad (2.35)$$

Dimana ϕ_m adalah lengkungan maksimum yang akan timbul, dan ϕ_y adalah lengkungan pada saat leleh. *Curvature ductility* ini merupakan daktilitas yang diberikan oleh penulangan struktur.

- 1) *Yield Curvature*. Penentuan daktilitas rencana dapat dilihat dari hubungan daktilitas dan faktor reduksi. Hubungan tersebut dapat divariasikan dengan pendekatan hubungan gaya struktur dan lendutan pada keadaan elestoplastis atau bilinear. Hal ini menyebabkan kurva Gambar 2.19 dapat diubah menjadi kurva Gambar 2.20

Gambar 2.20 Definisi dari *Curvature Ductility*

Ini berarti bahwa *yield curvature* ϕ'_y tidak perlu bertepatan dengan titik leleh pertama dari gaya regang, dimana pada umumnya berada pada pada titik yang lebih rendah ϕ'_y (Gambar 2.20.(a)), pada kenyataannya jika gaya didistribusikan di seluruh bagian seperti yang terjadi pada kasus kolom.

Untuk kasus umum ini, *yield curvature* pertama ϕ'_y seperti yang diberikan pada Gambar 2.20.(b) ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$\phi'_y \equiv \frac{\epsilon_y}{(d - c_y)} \quad (2.36)$$

Dimana $\epsilon_y = \frac{f_y}{E_s}$ dan c_y adalah jarak dari luar ke natural-axis. Dengan mengekstrapolasi linear ke Momen M_i seperti Gambar 2.20.(a), *yield curvature* ϕ_y ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$\phi_y \equiv \frac{M_i}{M'_i} \phi'_y \quad (2.37)$$

Jika potongan tersebut memiliki rasio gaya yang tinggi, atau gaya axial terpusat yang besar, gaya tekan tahanan yang terjadi dapat terjadi sebelum leleh pertama terjadi. Untuk kasus seperti ini *yield curvature* dapat diberikan dengan persamaan berikut:

$$\phi'_y = \frac{\epsilon_c}{c_y} \quad (2.38)$$

Dimana ϵ_c diambil sebesar 0,0015. Untuk hubungan antara ϕ_y dan ϕ'_y dengan $M'_i = 0,75M_i$ dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$\phi_y = 1,33\phi'_y \quad (2.39)$$

- 2) *Maximum Curvature*. Curvature maksimum yang ada pada potongan, atau *Ultimate Curvature* yang lebih umum disebutkan, akan dikontrol oleh *compression strain* maksimum ϵ_{cm} pada serat terluar. Berdasar pada grafik Gambar 2.20.(c), curvature ini dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\phi_m = \frac{\epsilon_{cm}}{c_u} \quad (2.40)$$

Dimana c_u adalah jarak garis netral pada saat ultimate.

- 3) *Factors Affecting Curvature Ductility*. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi *curvature ductility*. Pada penulisan ini tidak akan dibahas secara mendalam. Faktor utama dari *curvature ductility* ini adalah *ultimate compression strain* ϵ_{cm} . Parameter lainnya adalah *axial force*, *compression strength*, dan *reinforcement yield strength*.
- a. *Axial Force*. Seperti yang dilihat pada Gambar 2.20.(b) dan (c), keberadaan gaya aksial dapat meningkatkan tinggi dari daerah tekan baik pada pelelehan pertama c_{y2} dan pada ultimate c_{u2} . Pada saat tekanan dengan kondisi tanpa gaya aksial (c_{y1} dan c_{u1}), gaya aksial meningkatkan nilai ϕ_y , dan menurunkan nilai ϕ_u . Sehingga, gaya tekan aksial dapat sangat mereduksi kapasitas daktilitas pada bagian tersebut. Sebagai hasilnya, memperkecil selimut beton sangat diharapkan pada bagian bawah kolom daktil. Kesimpulannya, keberadaan gaya tekan aksial dapat meningkatkan kapasitas daktilitas.

- b. *Compression Strength*. Meningkatnya kuat tekan pada beton atau bata adalah lawan dari efek gaya aksial: jarak garis netral pada saat leleh dan ultimate kedua-duanya direduksi, sehingga terjadi reduksi yield curvature dan peningkatan ultimate curvature. Oleh karena itu, peningkatan kuat tekan adalah cara yang efisien untuk meningkatkan kapasitas daktilitas.
- c. *Reinforcement Yield Strength*. Jika permintaan gaya regangan dilakukan dengan pengreduksian daerah gaya dari kuat leleh tertinggi, ultimate curvature tidak akan terpengaruhi jika tidak tegangan baja melebihi kekuatan tegangan ultimate ter rendah. Bagaimanapun juga, penambahan tegangan leleh ϵ_y berarti yield curvature akan bertambah.

Untuk meningkatkan *curvature ductility*, hal yang dapat dilakukan adalah dengan memperkuat tulangan tekan atau memperlemah tulangan tarik. Jika dilihat dari Gambar 2.20, dengan memperlemah tulangan tarik, maka akan mempercepat terjadinya leleh pertama. Hal lain yang dapat dilakukan adalah dengan menambahkan tulangan geser.

c. Daktilitas Lendutan (*Displacement Ductility*)

Daktilitas lendutan biasanya digunakan pada evaluasi struktur yang diberikan gaya gempa. Daktilitas didefinisikan oleh rasio dari total lendutan yang terjadi Δ dengan lendutan pada awal titik leleh (*yield point*) u_y .

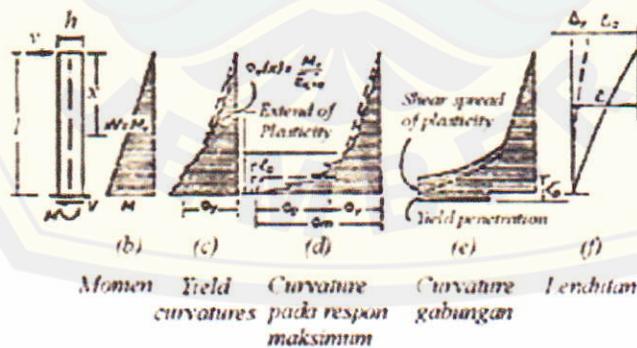
$$\mu_{\Delta} = \frac{u}{u_y} \geq 1 \quad (2.41)$$

Dimana $y = u_y + u_p$. Lendutan pada titik leleh (u_y) dan pada titik plastic (u_p) penuh adalah komponen-komponen dari total lendutan ujung lateral seperti pada Gambar 2.21.(f).

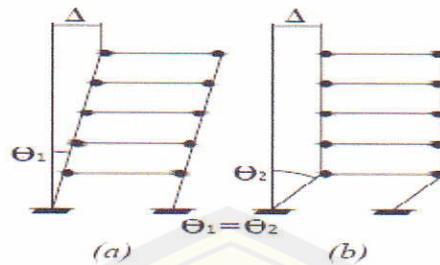
Untuk sebuah struktur portal, biasanya total defleksi diambil pada bagian teratas (atap), seperti pada Gambar 2.22. Walaupun pada nantinya perhitungan faktor reduksi akan dilihat dari hubungan simpangan dengan tinggi dari bangunan tersebut,

kesalahan μ_{Δ} pada bagian atap dapat dinormalkan dengan perbandingan pendekatan yang telah dibuat. Pada saat perancangan, harus diperhatikan daktilitas dihubungkan dengan maksimumantisipasi lendutan $u = u_m$ (Gambar 2.20). Sehingga, tidak terlalu diperhatikan lendutan yang terjadi antar lantai. Ini mungkin dapat dilihat pada Gambar 2.22 bahwa daktilitas lendutan pada bagian atap seperti yang dibandingkan. Pada kenyataannya kejadian ini sangat berpengaruh. Terjadi perbedaan daktilitas pada kedua kejadian ini. Gambar 2.22 juga menunjukkan bahwa kapasitas daktilitas lendutan μ_{Δ} pada struktur seperti itu akan sangat berpengaruh pada kemampuan plastis sambungan pada ujung balok atau kolom. Hal ini menuntut kemampuan daktilitas pada kolom dan balok secara individual.

Lendutan sampai titik leleh u_y pada kantilever, seperti pada Gambar 2.21.(f), diasumsikan mengalami *yield curvature* pada bagian dasarnya. Ini adalah pendekatan yang paling realistis dan penting, karena nilai absolut dari lendutan maksimum $u_m = \mu_{\Delta} \leq u_u$ juga perlu dievaluasi dan dihubungkan dengan tinggi struktur dimana lendutan terjadi.



Gambar 2.21 Hubungan Momen, *Curvature*, dan Lendutan Pada Model Kantilever



Gambar 2.22 Defleksi

Pada struktur, ketika respon gempa yang terjadi melebihi beban rencana maka keadaan deformasi inelastis harus tercapai. Ketika struktur mampu untuk merespon keadaan inelastis tanpa penurunan kemampuan yang elastis, maka hal ini akan disebut dalam keadaan daktail. Keadaan daktail yang sempurna terjadi pada saat *ideal elastic/ perfectly plastic (elastoplastic)*.

2.9 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton ditentukan oleh pengaturan dari perbandingan semen, agregat kasar, agregat halus, air dan bahan kimia pembantu. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama didalam penentuan kekuatan beton.

Semakin rendah perbandingan air semen, semakin tinggi kekuatan tekan beton. Suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan reaksi kimiawi didalam proses pengerasan beton, kelebihan air meningkatkan kemampuan pengerjaan (*service ability*) akan mempengaruhi kekuatan. Suatu ukuran dari pengerjaan beton diperoleh dengan percobaan *slump*.

Kuat tekan beton didapat dari uji tekan beton yang disesuaikan dengan waktu pengerasan beton. Didalam peraturan, uji tekan beton dapat dilakukan dalam waktu 3, 7, 14, 21, 28, dan 90 hari. Kuat tekan beton adalah kemampuan benda uji untuk menahan gaya tekan atau kemampuan maksimum benda uji dalam menahan gaya tersebut yang menyebabkan kehancuran. Kuat tekan beton dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain (Samekto, 2001):

- a. Jenis dan kualitas semen.
- b. Jenis dan tekstur permukaan agregat.
- c. Perawatan.
- d. Suhu.

Pengujian kuat tekan dimaksudkan untuk mengetahui kuat tekan beton dengan cara memberikan beban terhadap beton sampai beton tersebut tidak kuat lagi menahan beban yang diterimanya (retak) dengan ditunjukkan berhenti naiknya jarum penunjuk beban yang diterima beton. Pengujian kuat tekan dengan menggunakan alat *Compression Strength*. Besar kuat tekan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Sumber : SK SNI T – 15 – 1990 – 03).

$$f_c = \frac{\text{Pembacaan Dial} \cdot 10}{A \cdot \text{kalibrasi}} \quad (2.42)$$

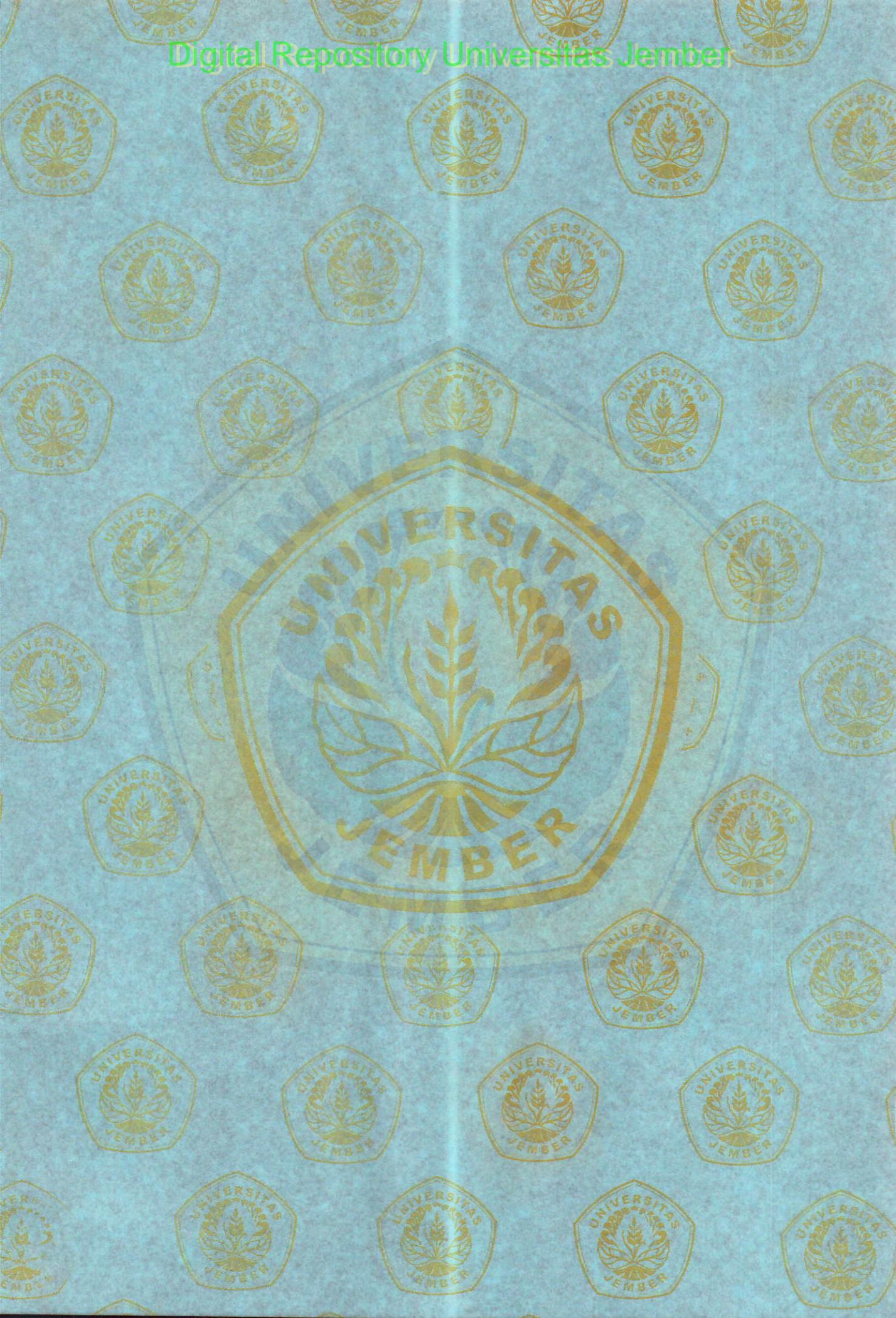
Dengan : f_c = Kuat tekan beton (MPa)
 A = Luas benda

Kuat tekan rata-rata adalah nilai rata-rata kuat tekan beton dari jumlah beton yang sama jenisnya. Besar kuat tekan rata-rata dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (sumber SK SNI – 15 – 1990 – 03) :

$$f_{cr} = \frac{\sum f_c}{n} \quad (2.43)$$

Dengan : f_{cr} = Kuat tekan rata-rata (MPa)
 $\sum f_c$ = Jumlah nilai kuat tekan (MPa)
 n = Jumlah benda uji untuk satu jenis perlakuan.

Digital Repository Universitas Jember





BAB 3.

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Pengujian eksperimen ini dilaksanakan di Laboratorium Struktur dan Konstruksi Bahan Bangunan Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember. Adapun jangka waktu penelitian yang diperlukan adalah sekitar enam (6) bulan.

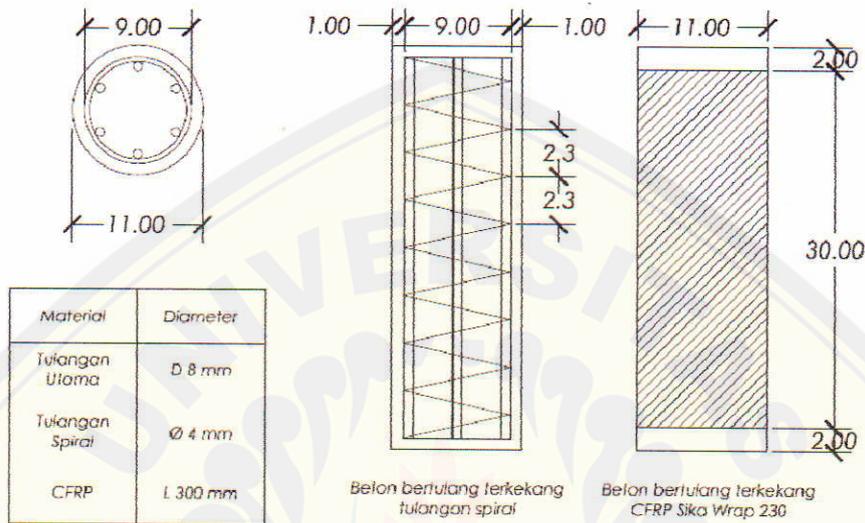
3.2. Pedoman.

Untuk menjawab rumusan masalah, yaitu mengetahui bagaimana Peningkatan Kekuatan Tekan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang berpenampang Melingkar Dengan Menggunakan CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) tersebut, tahap perhitungan yang digunakan dalam penulisan skripsi ini berpedoman pada SK SNI T 03-2847-2002 dan literatur pendukung yang ada. Metode yang dilakukan adalah dengan cara membuat benda uji di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik Universitas Jember, pengujian dilakukan dengan cara tekan beban sentris pada umur 28 hari.

3.3. Variabel Perhitungan.

Kolom yang digunakan sebagai benda uji merupakan kolom beton bertulang pendek melingkar mutu normal dengan dikekang Tulangan Spiral dan CFRP *Sika Wrap 230C*. kolom yang diperkuat dengan Tulangan Spiral dan CFRP diharap dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitasnya. Kolom yang dirancang mempunyai diameter 11 cm serta tinggi 34 cm (Gambar 3.1), Rencana beton yang digunakan adalah beton kekuatan normal dengan $f'_c = 26.4$ MPa (K 300). Tulangan yang digunakan berupa tulangan utama berdiameter 8 mm mutu $f_y = 390$ MPa dan tulangan sengkang berdiameter 4 mm, mutu $f_{ys} = 240$ MPa. Dan untuk *CFRP Sika Wrap 230C* $t_L : 0.13$ mm $f_{LU} = 3500$ MPa

Jumlah tulangan utama terpasang beban gravitasi saja. Begitu juga dengan sengkang yang terpasang hanya mampu menahan akibat beban gravitasi. Hasil rencana yang telah disesuaikan dengan peraturan dan kapasitas benda uji.



Gambar 3.1 : Rencana Benda Uji

A. Kebutuhan benda uji

Jenis perlakuan dalam penelitian ini adalah dengan adanya overlap 5 cm dalam pemasangan *CFRP Sika Wrap 230*, perlakuan tersebut :

1. 3 buah benda uji beton bertulang.
2. 3 buah benda uji beton bertulang terkekang tulangan spiral.
3. 3 buah benda uji beton bertulang terkekang tulangan spiral 1 lapis sika wrap 230C.
4. 3 buah benda uji beton bertulang terkekang tulangan spiral 2 lapis sika wrap 230C.
5. 3 buah benda uji beton bertulang terkekang tulangan spiral 3 lapis sika wrap 230C.

B. Kebutuhan Sika Wrap 230 C/45

1. Ukuran Sika Wrap fabric width = 300 mm permeter

Perlakuan 1 lapis membutuhkan:

$$K = \pi 2r = 3,14.2.5,5 \text{ cm} = 34,54 \text{ cm over lap } 5 \text{ cm}$$

Maka

$$K = 39,54 \text{ cm} \text{ kebutuhan } 3 \text{ benda uji } 3 \times 39,54 \text{ cm} = 118,62 \text{ cm}$$

2. Ukuran Sika Wrap fabric width = 300 mm permeter

Perlakuan 2 lapis membutuhkan:

$$K = \pi 2r = 3,14.2.5,5 \text{ cm} = 34,54 \text{ cm overlap } 5 \text{ cm}$$

Maka

$$K = (2 \text{ lapis} \times 34,54 \text{ cm}) + 5 = 74,08 \text{ cm} \text{ kebutuhan } 3 \text{ benda uji} \\ 3 \times 74,08 \text{ cm} = 222,24 \text{ cm}$$

3. Ukuran Sika Wrap fabric width = 300 mm permeter

Perlakuan 3 lapis membutuhkan:

$$K = \pi 2r = 3,14.2.5,5 \text{ cm} = 34,54 \text{ cm}$$

Diambil

$$K = (3 \text{ lapis} \times 34,54 \text{ cm}) + 5 = 108,62 \text{ cm} \text{ kebutuhan } 3 \text{ benda uji } 3 \times \\ 108,62 \text{ cm} = 325,86 \text{ cm}$$

Jadi kebutuhan seluruh CFRP Sika Wrap 230 C/45 = 118,62 cm + 222,24 cm + 325,86 cm = 666,72 cm dengan lebar 30 cm.

3.4. Alat dan Bahan Penelitian.

3.4.1 Alat Penelitian

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Satu set saringan ASTM
2. Shive shaker.
3. Timbang ananalitis 2600 gr.

4. Mold standart.
5. Mesinmolem kapasitas $\frac{1}{2} \text{ m}^3$.
6. Scoop.
7. Gerobak dorong.
8. Besi perojok berdiameter 1,6 cm dengan panjang 60 cm.
9. Satu set alat slump tes.
10. Mesin uji kuat tekan 400 ton.
11. Stopwatch.
12. Picnometer.
13. Oven.
14. Dan alat bantu.

3.4.2 Bahan Penelitian.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Air.
2. Semen PC tipe I Gresik.
3. Agregat kasar menggunakan batu pecah dari jember.
4. Agregat halus menggunakan pasir dari daerah lumajang.
5. Baja tulangan $\text{Ø}8$ dan $\text{Ø}4$.
6. CFRP Sika Wrap 230C.

3.5 Analisa Teoritis Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP

Adapun langkah melakukan analisa tegangan-regangan beton terkekang yaitu

- 1) Menentukan tegangan lateral beton terkekang (f_l) / (f_{cp}) persamaan 2.31 untuk CFRP dan persamaan 2.1 untuk tulangan transversal.
- 2) Menghitung nilai tegangan beton terkekang tulangan transversal dan CFRP maksimum (f'_{cc}), Nilai tegangan beton terkekang tulangan transversal maksimum (f'_{cc}) ditentukan dari persamaan 2.3 sedangkan nilai tegangan beton terkekang CFRP rumus Polido persamaan 2.24, Fardis dan Khalili persamaan

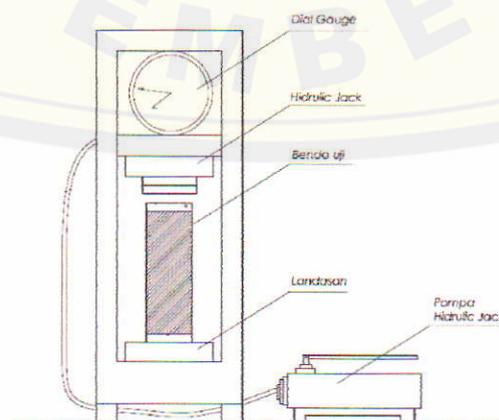
2.26, Mander dkk persamaan 2.28, ACI Committee 440 persamaan 2.29, dan Karbhari dan Gao persamaan 2.30

- 3) Setelah dapat f_{cc} dipergunakan untuk perhitungan dari kolom kapasitas kekuatan di sekitar axis. Satu bilangan tetap dari ψ_f direkomendasikan untuk berwujud kontribusi. Nilai direkomendasikan untuk ψ_f adalah 0.95.
- 4) Kapasitas nominal dari satu kolom dapat dihitung mempergunakan persamaan 2.39 dan 2.40

3.6 Pengujian Kuat Tekan

Pengujian kuat tekan baja ini dilakukan di laboratorium. Data yang diambil dari pengujian ini adalah beban maksimum dan lendutan yang terjadi. Untuk melaksanakan pengujian kuat desak beton harus diikuti beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Letakkan benda uji pada mesin tekan dapat dilihat pada gambar 3.2.
2. Jalankan mesin tekan dengan penambahan beban yang konstan berkisar antara 2 – 4 kg/cm² per detik.
3. Lakukan pembebanan sampai benda uji menjadi hancur dan dicatat beban maksimum yang terjadi selama pemeriksaan benda uji.
4. Gambar bentuk pecah dan dicatat keadaan benda uji.



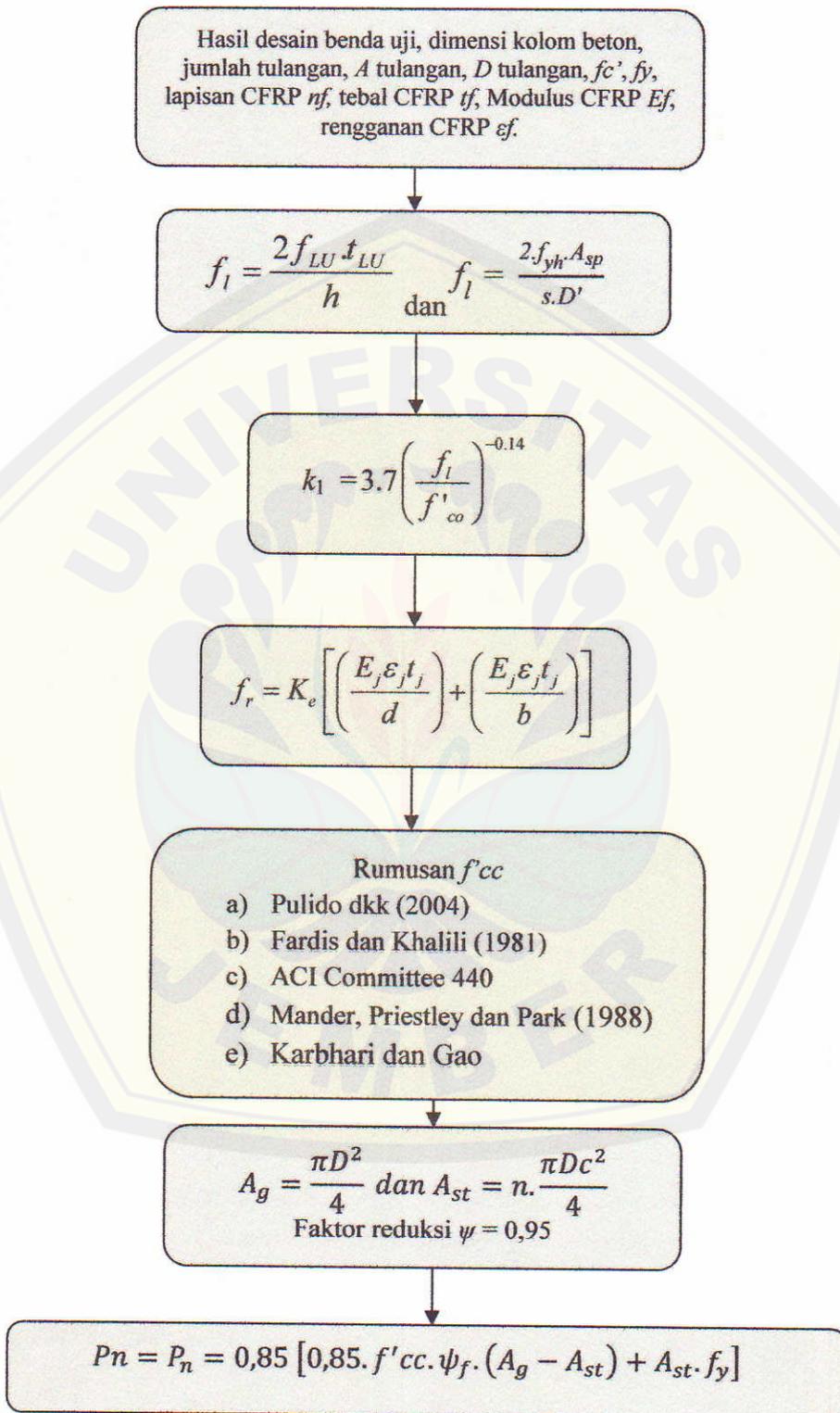
Gambar 3.2 Alat Kuat Tekan

3.6 Daktilitas.

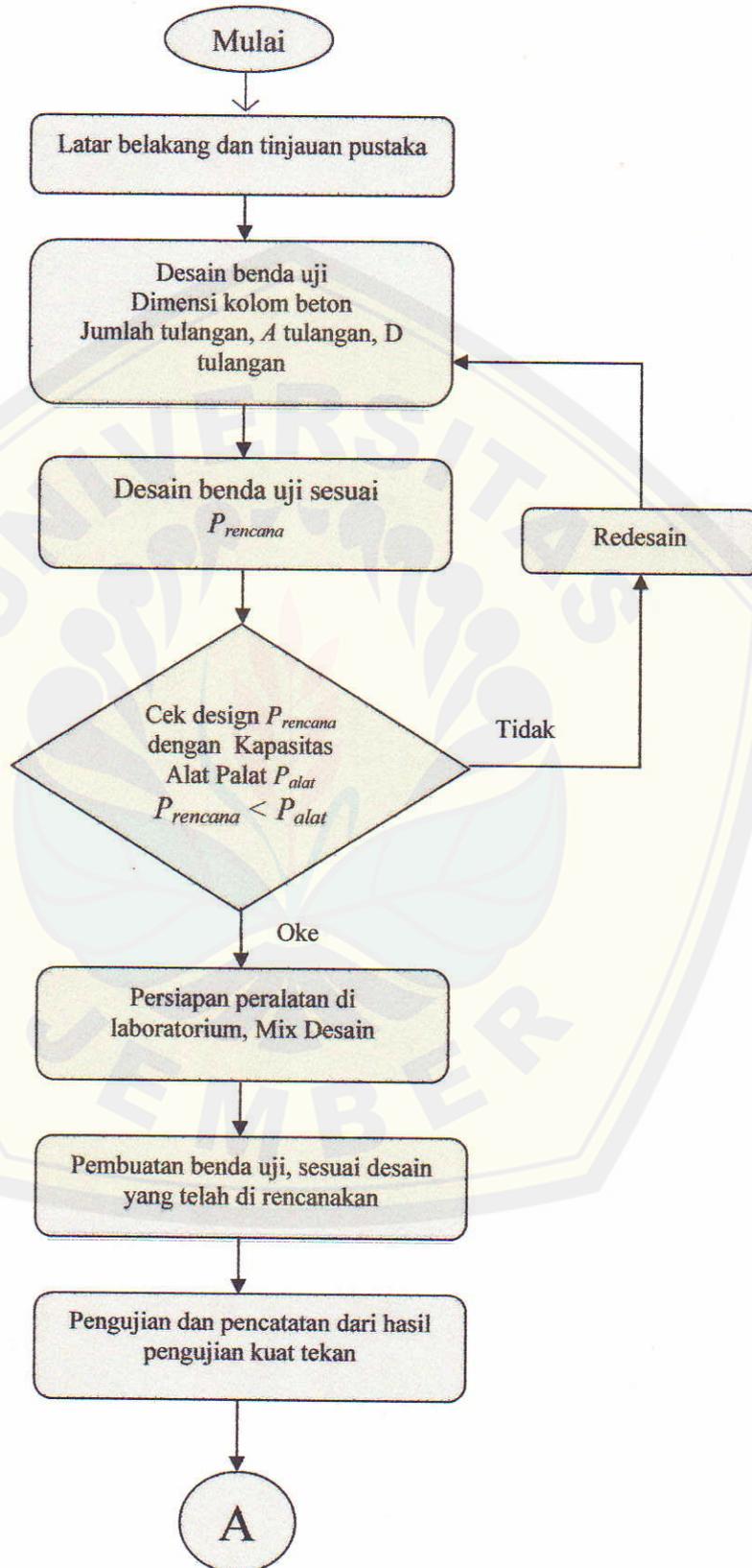
Daktilitas dilakukan dengan melihat data dari grafik $\sigma - \epsilon$ yang di dapat dari garfik $P - \Delta$ dari hasil pengujian, dengan mencari regangan leleh dan regangan maksimum dari grafik pengujian sehingga didapat daktilitas regangan (*strain ductility*) dengan memasukkan data tersebut ke persamaan 2.34.

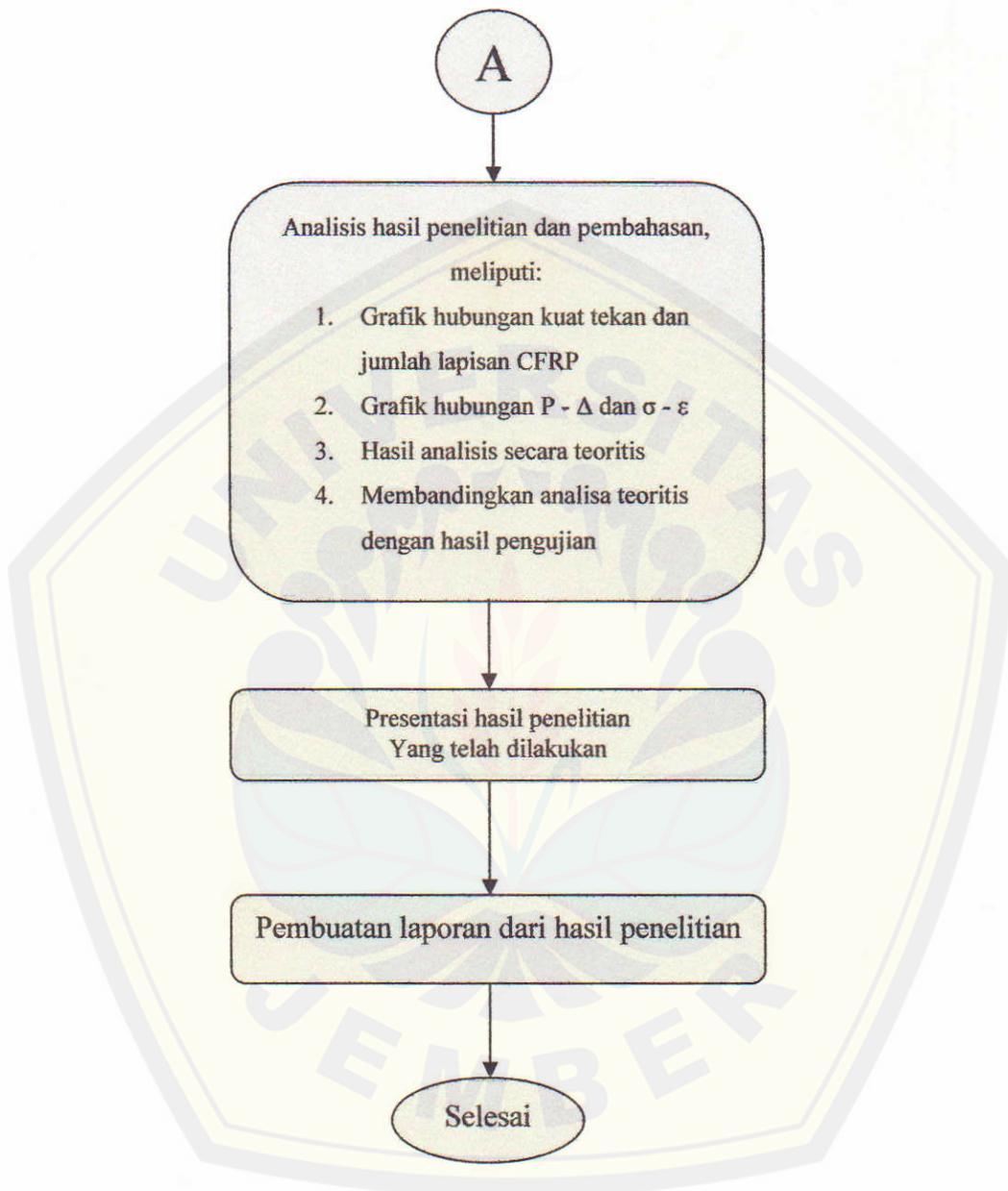
3.7 Pengolahan Data.

Setelah bahan dan alat uji siap serta sampel uji telah dibuat, maka siap untuk diuji sesuai prosedur penelitian. Hasil dari pengujian berupa data-data kasar yang masih perlu diolah lebih lanjut untuk mengetahui hubungan/korelasi antar satu pengujian dengan pengujian lainnya. Pengolahan data dilakukan sesuai dengan langkah-langkah pada gambar 3.4 dan rumus-rumus yang terdapat dalam tinjauan pustaka gambar 3.3.



Gambar 3.3 Skema analisa secara teoritis kuat tekan.





Gambar 3.4 Skema Kerja Pelaksanaan Penelitian



BAB 4.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Laboratorium.

4.1.1 Perencanaan Campuran Beton.

Mutu beton direncanakan sebesar 26 MPa (K300) dengan pengadukan menggunakan molen. Mix disain beton mutu 26 Mpa (K300) menghasilkan proporsi campuran yang disajikan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Proporsi Campuran Beton Mutu 26 Mpa

No.	Material	Volume	Satuan
1.	Semen	413	Kg/m ³
2.	Air	215	Kg/m ³
3.	Pasir	681	Kg/m ³
4.	Kerikil	1021	Kg/m ³

4.1.2 Pengujian Kuat Tekan Beton Kubus.

Pengujian kuat tekan beton menggunakan benda uji kubus dengan ukuran 15x15 cm, pengujian dilakukan setelah beton berumur 60 hari. Hasil pengujian kuat tekan benda uji kubus sebanyak 4 pasang diperoleh kuat tekan rata-rata sebesar 28,384 MPa.

4.1.3 Pengujian Baja Tulangan.

Mutu baja direncanakan menggunakan $f_y = 390$ MPa untuk tulangan memanjang dan $f_y = 240$ MPa untuk tulangan sengkang. Hasil pengujian kuat tarik dari penelitian sebelumnya yang menggunakan, pengujian besi polos untuk tulangan sengkang $\varnothing 4$ menunjukkan tegangan leleh rata-rata sebesar 781.71 MPa, Sedangkan besi $\varnothing 8$ untuk tulangan tekan diperoleh tegangan leleh rata-rata sebesar 293.11 MPa.

Ternyata hasil pengujian baja tulangan tidak sesuai dengan rencana sehingga berdasarkan data yang didapat dari hasil pengujian dilakukan revisi perhitungan analitis awal. Hasil pengujian kuat tarik tulangan baja tersaji pada lampiran 4.

4.1.4 Pengujian Kuat Tarik CFRP.

Hasil pengujian kuat tarik dari penelitian sebelumnya yang menggunakan CFRP type SikaWrap 230C adalah sebesar $f_i = 3500$ MPa, nilai ini diambil dari nilai kuat tarik yang tercantum di dalam brosur yang dikeluarkan oleh PT. Sika Indonesia tanggal Revised October 2008.

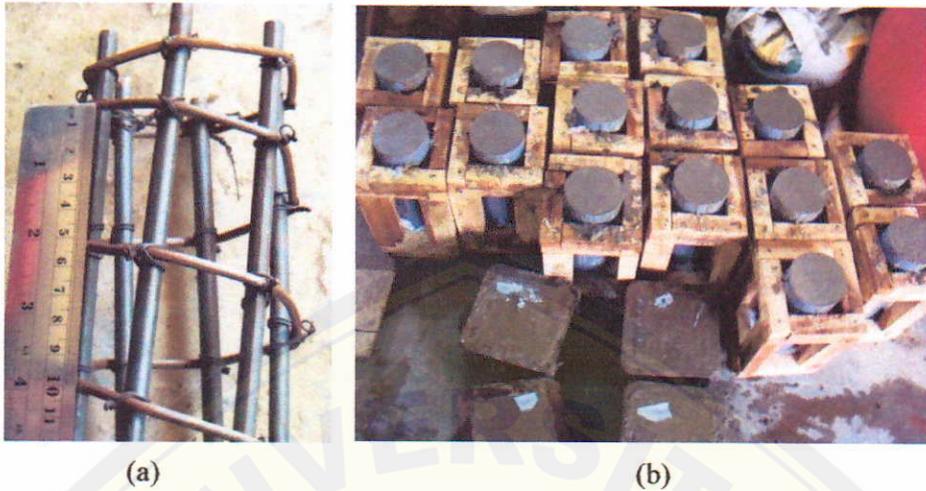
4.2 Perhitungan Analitis.

Perhitungan analitis pada saat awal adalah untuk merencanakan benda uji secara detail sesuai dengan asumsi yang ideal serta prediksi terhadap hasil yang diperoleh dari pengujian yang dilakukan di laboratorium. Perhitungan analitis ini menggunakan data material dari hasil pengujian di laboratorium.

4.2.1 Perancangan Kolom Uji Tanpa CFRP.

Perencanaan dimensi kolom uji disesuaikan dengan kapasitas alat yang ada dilaboratorium, dimana ukuran panjang maksimum alat benda uji adalah 35 cm sehingga direncanakan panjang kolom lingkaran adalah 34.5 cm, agar dikatakan kolom dan tidak pedestal (SNI 03-2847-2002, pasal 24.8) maka ukuran penampang melingkar dari kolom adalah $\frac{1}{3}$ dari tinggi kolom tersebut, jadi dimensi kolom adalah $\frac{34,5}{3} = 11,5$ cm diambil 11 cm dengan tinggi 34,5 cm, dan jarak spesi 1 cm.

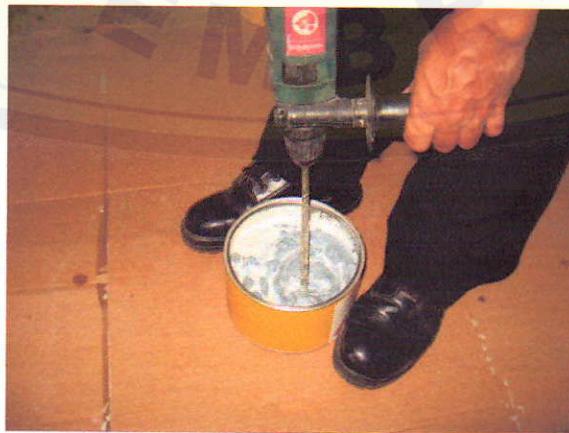
Jumlah tulangan longitudinal minimum yang diizinkan untuk batang tekan (ACI 10.9.2) adalah 6 untuk tulangan dengan sengkang spiral, dengan menggunakan besi $\varnothing 8$ sehingga persentase tulangan maksimum tidak melebihi 8% luas bruto penampang kolom (peraturan ACI 10.9.1). tulangan sengkang menggunakan besi $\varnothing 4$ dengan jarak $s = 5$ cm (ACI, 7.10.4), adapun gambar benda uji yang telah dibuat.



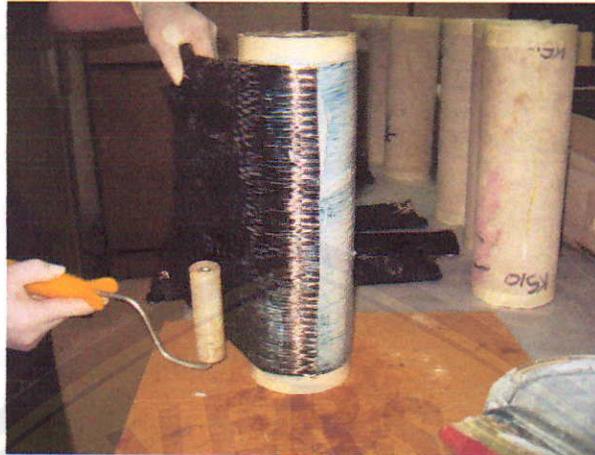
Gambar 4.1 (a). Tulangan kolom, (b). Mortar yang sudah dimasukkan ke dalam cetakan.

4.2.2 Perancangan CFRP

Pemasangan CFRP di letakkan di tengah-tengah kolom sebagai pengekanan menyeluruh (*fully wrapped*) dari CFRP sika Wrap 230C dengan spesi 1 cm tiap ujung kolom dan pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 kolom uji tiap lapisan CFRP terdiri dari 3 benda uji yang dibalutin 1 lapis CFRP, 3 benda uji yang dibalutin 2 lapis CFRP dan 3 benda uji yang dibalutin 3 lapis CFRP. Kolom yang telah dilapis dengan CFRP ditempatkan dalam suhu kamar lebih kurang tujuh hari sebelum dilaksanakan uji kuat tekan beban aksial. Adapun gambar pemasangan aplikasi CFRP sika Wrap 230C pada kolom.



Gambar 4.2 Pembuatan resin Sikadur 330.



Gambar 4.3 pemasangan CFRP Sika Wrap 230C dengan resin pada kolom.

4.2.3 Hasil Analisa Kolom Terkekang Tulangan Spiral.

Hasil perhitungan kuat tekan kolom terkekang tulangan spiral yang telah direncanakan dengan dibebani secara vertikal menggunakan rumus ACI Committee ditampilkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Nilai tekanan maksimum dari rumus ACI Committee.

No.	Rumus	Tulangan Spiral	
		f_{cc} (MPa)	P (KN)
1.	Persamaan 2.3	39.6	268.09
2.	Persamaan 2.29	43.8	295.41

Dari analisa teoritis kolom uji menggunakan beberapa rumus yang hasilnya seperti pada tabel 4.2 diperoleh nilai tertinggi pada rumus 2 ACI Committee sebesar 295.41 KN.

4.2.4 Hasil Analisa Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP Berdasarkan Rumus.

Hasil perhitungan kuat tekan maksimum kolom terkekang CFRP Sika Wrap 230C 1,2 dan 3 Lapis yang direncanakan dengan dibebani secara vertikal, menggunakan rumus Pullido, Fardis, Mander, ACI Committee dan Karbhari dkk diperoleh nilai yang bervariasi, nilai ini ditampilkan pada tabel 4.3. Perhitungan lengkapnya tertera pada lampiran 1.

Tabel 4.3 Nilai tekanan maksimum dari rumus Pullido, Fardis, Mander, ACI Committee, dan Karbhari.

No.	Rumus	1 Lapis CFRP		2 Lapis CFRP		3 Lapis CFRP	
		f_{cc} (MPa)	P (KN)	f_{cc} (MPa)	P (KN)	f_{cc} (MPa)	P (KN)
1.	Pullido (Persamaan 2.24)	76.72	509.09	99.04	654.01	118.63	781.24
2.	Ferdis (Persamaan 2.26)	74.89	497.23	103.69	684.22	130.76	859.94
3.	Mander (Persamaan 2.28)	71.61	475.92	87.61	579.84	98.09	647.85
4.	ACI Committee (Persamaan 2.29)	71.25	473.57	87.09	576.48	97.45	643.68
5.	Karbhari (Persamaan 2.30)	53.37	357.50	71.14	472.87	87.83	581.26

Dari analisa teoritis balok uji menggunakan beberapa rumus yang hasilnya seperti pada tabel 4.3 diperoleh P_{maks} tertinggi untuk CFRP 1 lapis dari rumus Pullido sebesar 509.09 KN dan $f_{cc} = 76.72$ Mpa, P_{maks} tertinggi untuk CFRP 2 lapis dari rumus Ferdis sebesar 684.22 KN dan $f_{cc} = 103.69$ Mpa, sedangkan P_{maks} tertinggi untuk CFRP 3 lapis dari rumus Ferdis sebesar 859.94 KN dan $f_{cc} = 130.76$ Mpa. Untuk rumus Mander, dan ACI 440 nilai yang diperoleh untuk semua item tidak berbeda jauh. Dari tabel 4.3 dapat kita lihat terjadi peningkatan kekuatan P_{maks} kolom uji setelah diberikan CFRP rata-rata sebesar 72.33 % untuk lapisan 1 CFRP, akan tetapi setelah balutan ke 2 dari CFRP peningkatan tidak seperti pada lapisan 1, hanya

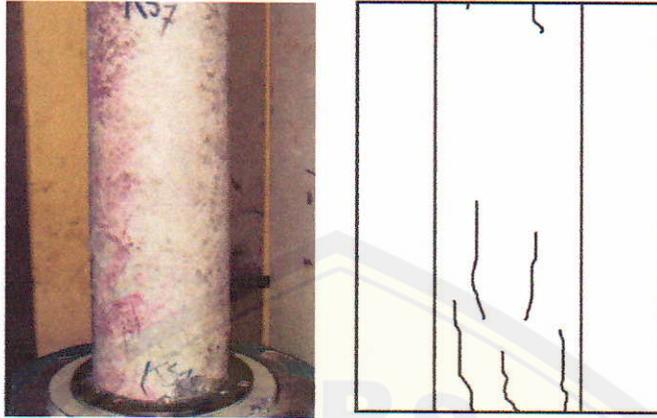
meningkat sebesar 28.47 % dan begitu juga dengan lapisan 3 CFRP meningkat sebesar 19.45 %. Akan tetapi pada lapisan ke-3 CFRP kolom mengalami peningkatan kuat tekan P signifikan dilihat dari kolom sebelum diberi CFRP sebesar 264,5 % , ini disebabkan adanya peningkatan pada f_c menjadi nilai f_{cc} kolom yang diberikan pada kekangan CFRP secara penuh (*fully wrapped*) sehingga P pada kolom mengalami peningkatan. Sehingga analisis dengan memperhitungkan tekan dari kolom terkekang CFRP sangat menguntungkan karena pada umumnya kolom digunakan untuk menahan beban aksial tekan.

4.3 Hasil Pengujian Laboratorium.

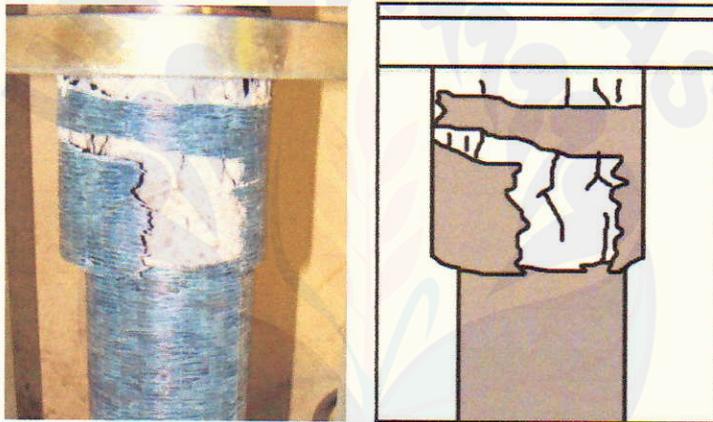
Hasil pengamatan eksperimen berupa nilai Δl , dan P beserta hasil analisa data eksperimen berupa hubungan tegangan σ dan renggangan ε dicantumkan dalam tabel pada lampiran 3. Secara umum dari pengujian kolom beton bertulang mutu normal terkekang CFRP memperlihatkan hasil sesuai dengan prediksi, yakni menunjukkan peningkatan kuat tekan dan daktilitas yang cukup signifikan dibandingkan dengan tanpa CFRP. Kolom uji yang dikekang CFRP meningkat daktilitasnya.

4.3.1 Pola Retak Hasil Eksperimen Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP.

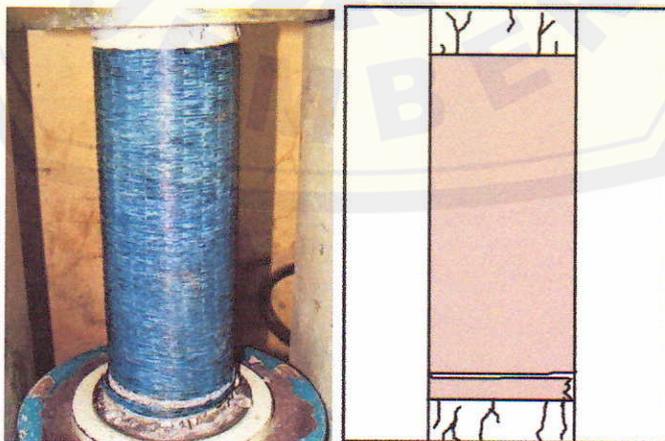
Pada benda uji ini retak pertama kali terjadi pada beban $P = 200$ KN yang diawali dengan retak geser berada di luar kekangan CFRP. Seiring dengan bertambahnya beban maka retak terus memanjang ke daerah tekan beton menjadi retak geser. Setelah beban $P_{rat-rata} = 500$ KN untuk 1 lapis, $P_{rat-rata} = 600$ KN untuk 2 lapis, dan $P_{rat-rata} = 700$ KN untuk 3 lapis terlampaui, baru terjadi retak pada area beton terkekang CFRP. Pada beban mencapai P_{max} terjadi keretakan tiap lapisan CFRP kemudian merambat ke daerah tekan beton dengan pola retakan berbentuk vertikal dan putusya CFRP secara tiba-tiba dapat dilihat pada gambar 4.4, gambar 4.5, gambar 4.6, dan gambar 4.7.



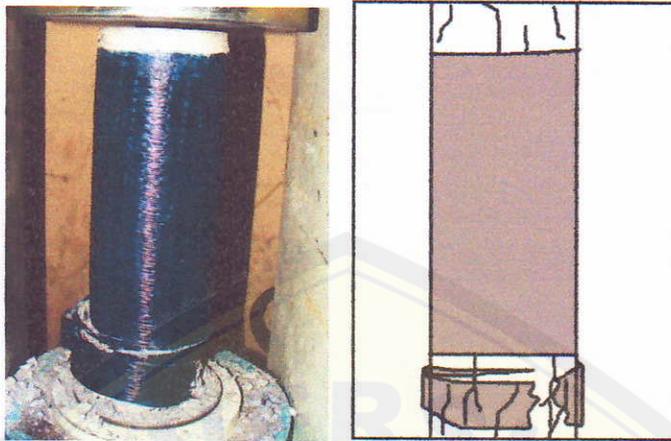
Gambar 4.4 Model keruntuhan umum spesimen menggunakan tulangan spiral



Gambar 4.5 Model keruntuhan umum spesimen menggunakan tulangan spiral dan 1 lapis CFRP



Gambar 4.6 Model keruntuhan umum spesimen menggunakan tulangan spiral dan 2 lapis CFRP.



Gambar 4.7 Model keruntuhan umum spesimen menggunakan tulangan spiral dan 3 lapis CFRP

4.3.2 Hasil Eksperimen Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP.

Hasil pengujian kuat tekan maksimum kolom terkekang CFRP Sika Wrap 230C 1,2 dan 3 lapis yang direncanakan dengan dibebani secara vertikal atau aksial, nilai ini ditampilkan pada tabel 4.4. Percobaan lengkapnya tertera pada lampiran 2.

Tabel 4.4 Nilai tekanan maksimum dari hasil eksperimen

No	Jenis Kolom Lingkaran	Kuat Tekan	Peningkatan Kekuatan
		$P_{rata-rata}$ (MPa)	(%)
1.	Tulangan spiral	263.3	
2.	Tulangan spiral dan CFRP 1 lapis	530.0	101.3%
3.	Tulangan spiral dan CFRP 2 lapis	636.7	141.8%
4.	Tulangan spiral dan CFRP 3 lapis	720.0	173.5%

Dari hasil eksperimen yang bisa di lihat pada table 4.4, kolom terkekang tulangan spiral dan CFRP 1 lapis mengalami peningkatan signifikan sebesar 101.3%, kolom terkekang tulangan spiral dan CFRP 2 lapis mengalami peningkatan 141.8%,

kolom terkekang tulangan spiral dan CFRP 3 lapis mengalami peningkatan 173.5%, dari hasil diatas, kolom lingkaran terkekang tulangan spiral dan CFRP mengalami peningkatan kekuatan tekan sesuai dengan perencanaan awal. Akan tetapi dengan adanya penambahan lapisan CFRP tidak membuat kolom kekuatan kolom meningkat jauh seperti pada lapisan pertama CFRP.

4.3.3 Perbandingan Hasil Rumus Dengan Hasil Eksperimen Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP.

Dari data diatas dapat dilihat perbedaan hasil perhitungan pada tabel 4.2 dan tabel 4.3 dengan hasil eksperimen 4.4. Perbedaan dari hasil perhitungan tidak begitu jauh dari hasil pengujian, dari tabel 4.2 hitungan kolom yang terkekang tulangan transversal lebih besar dari pada hasil pengujian pada tabel 4.4, rumus pertama dari perhitungan mendekati nilai hasil pengujian, yaitu dari hasil pengujian 268.09 KN sedangkan dari hasil pengujian 263.3 KN, rumus ini (ACI Committee) cukup aman untuk digunakan menghitung kuat tekan kolom bulat terkekang tulangan spiral.

Untuk kolom terkekang tulangan spiral dan CFRP mempunyai perbedaan antar hasil perhitungan dengan hasil eksperimen, perbedaan yang cukup jauh yaitu pada rumus yang digunakan Pullido dan Ferdis pada lapisan 1 lebih rendah dari pengujian, tetapi pada lapisan 2 CFRP dan 3 CFRP lebih besar dari pada hasil eksperimen, sedangkan pada rumus Mander, ACI Committee, dan Karbhari nilai hasil perhitungan lebih rendah dari pada hasil eksperimen yang dilakukan, tetapi dari rumus Mander dan ACI Committee perbedaan tidak begitu jauh dari pengujian dapat dilihat pada tabel 4.5, dari pada rumus yang digunakan Karbhari dan Gao yang perbedaannya terlalu jauh,

Tabel 4.5 Perbandingan nilai tekanan maksimum dari hasil eksperimen dengan rumusan

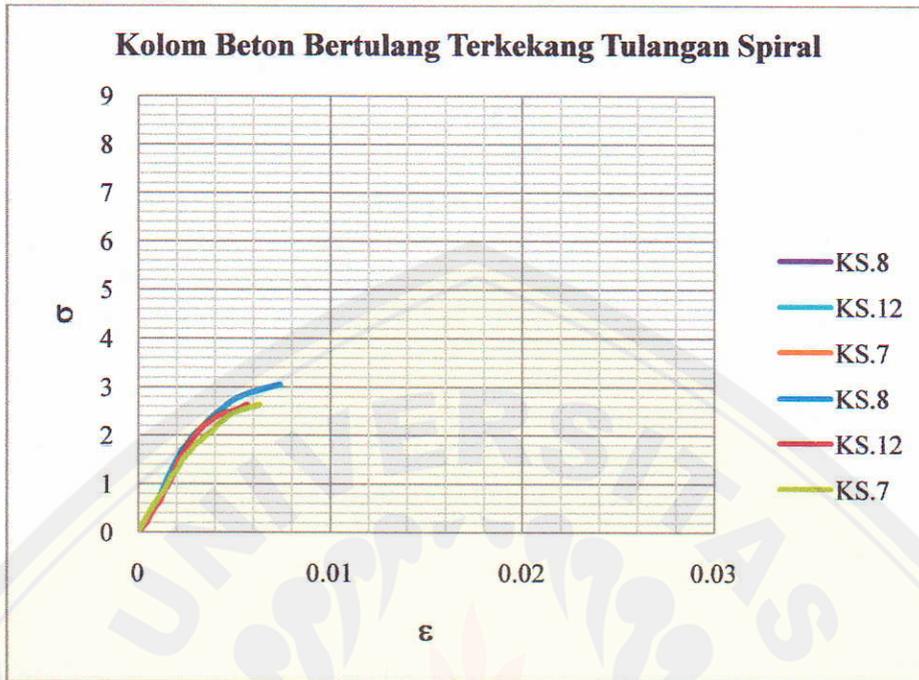
No	Jenis Kolom Lingkaran	Mander (Persamaan 2.28)	ACI Committee (Persamaan 2.29)	Eksperimen
		P (MPa)	P (MPa)	$P_{rata-rata}$ (MPa)
1.	Tulangan spiral		268.09	263.3
2.	Tulangan spiral dan CFRP 1 lapis	475.92	473.57	530.0
3.	Tulangan spiral dan CFRP 2 lapis	579.84	576.48	636.7
4.	Tulangan spiral dan CFRP 3 lapis	647.85	643.68	720.0

4.3.4 Daktilitas Kolom Terkekang Tulangan dan CFRP.

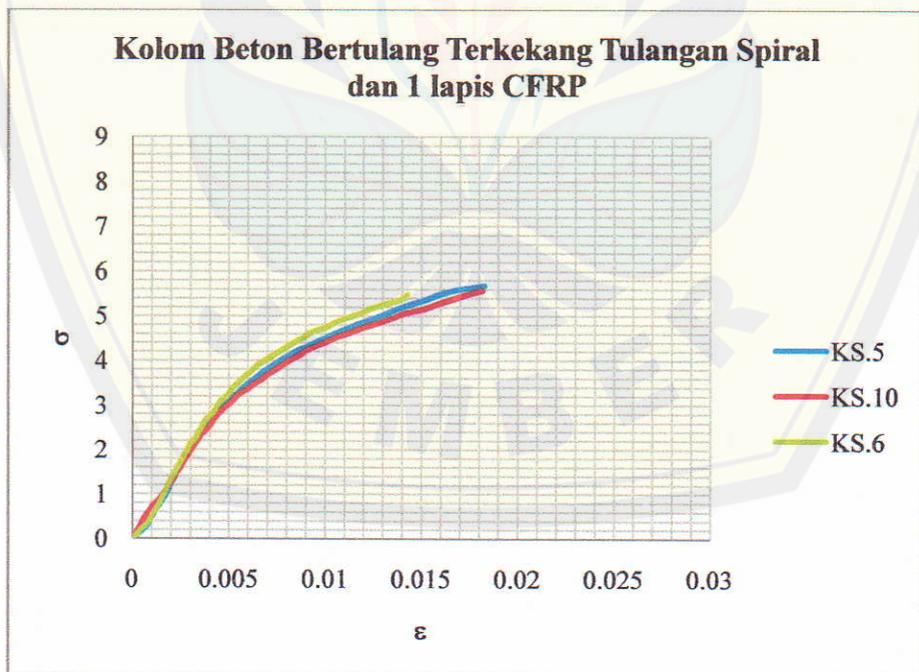
Daktilitas diperoleh dari pengujian dimana didapat grafik hubungan tegangan-regangan didapat, dari hasil pengujian kolom terkekang tulangan mengalami peningkatan daktilitas yang cukup signifikan pada saat di beri CFRP, terutama pada pemberian CFRP sebanyak 3 lapis, daktilitas dapat dilihat pada tabel 4.6 dan grafik hubungan tegangan renggangan yang didapat dari pengujian gambar di bawah ini:

Tabel 4.6 Nilai daktilitas dari hasil eksperimen

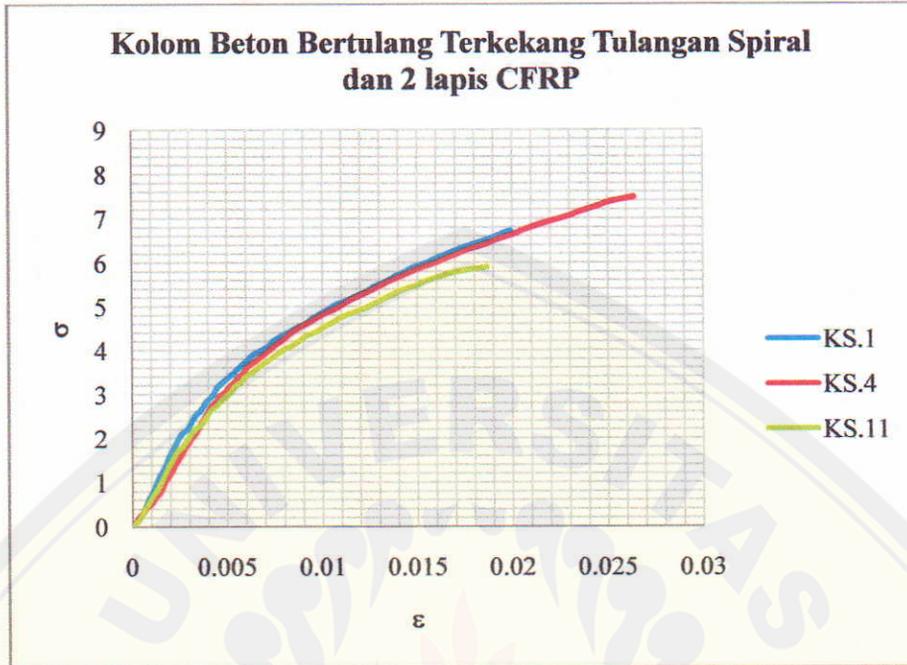
No	Jenis Kolom Lingkaran	Nilai	Kenaikan
		Daktilitas μ_e	
1.	Tulangan spiral	2.329	
2.	Tulangan spiral dan CFRP 1 lapis	4.393	188.6 %
3.	Tulangan spiral dan CFRP 2 lapis	6.467	277.8 %
4.	Tulangan spiral dan CFRP 3 lapis	7.408	318.1 %



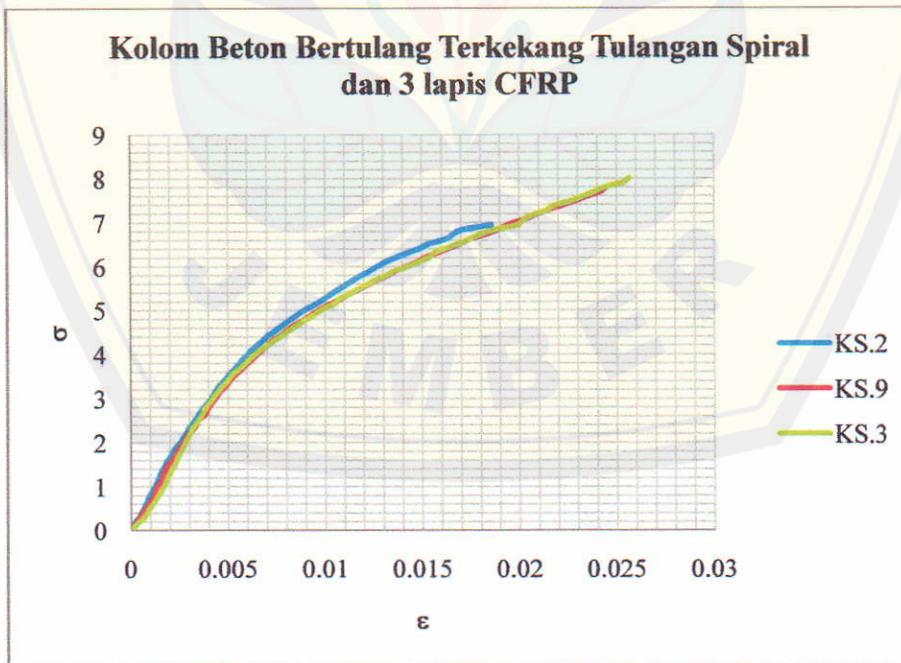
Grafik 4.1 Hubungan tegangan-regangan beton bertulang terkekang tulangan spiral.



Grafik 4.2 Hubungan tegangan-regangan beton bertulang terkekang tulangan spiral dan 1 lapis CFRP.



Grafik 4.3 Hubungan tegangan-regangan beton bertulang terkekang tulangan spiral dan 2 lapis CFRP



Grafik 4.4 Hubungan tegangan-regangan beton bertulang terkekang tulangan spiral dan 3 lapis CFRP

Dapat dilihat dari grafik 4.2 kurva tegangan-regangan mengalami peningkatan sebelum terkekang CFRP 1 lapis pada grafik 4.1, pada grafik 4.3 dan grafik 4.4 peningkatan daktilitas hampir sama tidak terjadi peningkatan begitu besar seperti halnya pada grafik 4.2. Dari tabel 4.6 dapat dilihat kolom uji terkekang tulangan spiral menerima energi dari tekanan beban aksial sebesar $\mu_e = 2.329$, kolom uji terkekang tulangan spiral dan 1 lapis CFRP menerima energi tekanan beban aksial sebesar $\mu_e = 4.393$, kolom uji terkekang tulangan spiral dan 2 lapis CFRP menerima energi tekanan beban aksial sebesar $\mu_e = 6.467$, dan kolom uji terkekang tulangan spiral dan 3 lapisan CFRP menerima energi tekanan beban aksial sebesar $\mu_e = 7.408$.

Kenaikan signifikan daktilitas terjadi pada saat kolom diberi 2 lapis CFRP sebesar 277.8 % daktilitas naik 2 kali lipat dari lapis pertama, akan tetapi kenaikan ini tidak terjadi kembali pada lapisan ke 3 CFRP sebesar 318.1 %.

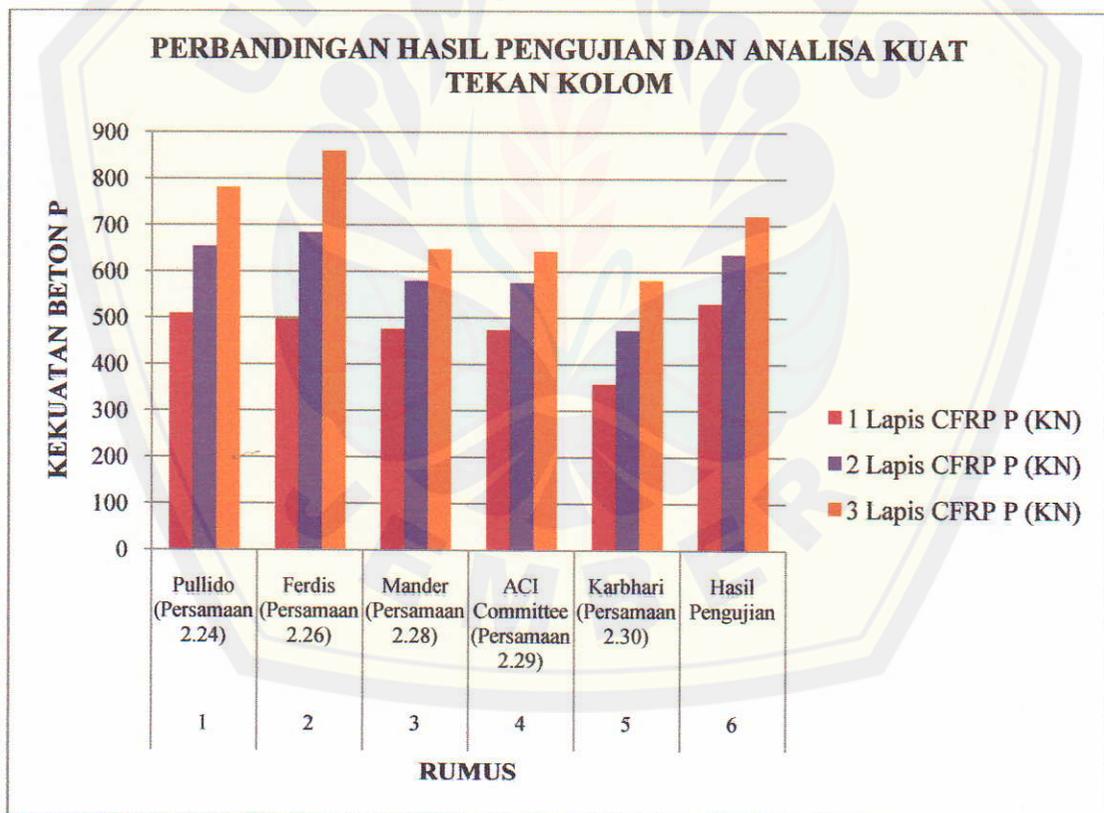
4.4 Pembahasan Hasil Pengujian.

Dari pengujian kolom uji berpengekang CFRP 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis diperoleh hasil sebagai berikut:

- 1) Kolom berpengekang CFRP hasil eksperimen mengalami peningkatan kuat tekan P beton, akan tetapi nilai itu tidak meningkat signifikan dengan adanya penambahan jumlah lapisan CFRP pada kolom, yaitu peningkatan hanya sebesar 40.5% dari lapis 1 ke lapis 2, dan sebesar 31.7% dari lapis 2 ke lapis 3, hal demikian tidak seperti pada lapisan 1 sebesar 101.3%. Hal ini disebabkan kekuatan f_c kolom beton bertulang pada saat terkekang tulangan spiral dan 1 lapis CFRP ikut bekerja menyerap energi beban yang diberikan, ini menyebabkan nilai kekangan 1 lapis lebih besar. Sedangkan pada saat lapis ke 2 CFRP kekuatan beton hilang, yang bekerja hanya pada tulangan dan CFRP. Ini menunjukkan kolom lebih dominan dalam menahan beban aksial maka

perkuatan memakai lapisan CFRP akan lebih efektif jika kuat tekan kolom dinaikkan dibandingkan dengan menambah tebal lapisan CFRP.

- 2) Dari gambar barchart di bawah, analisa teoritis menggunakan rumus Mander, dan ACI Committee 440 didapatkan hasil yang tidak berbeda jauh dari nilai pengujian, sedangkan rumusan Pullido dan Ferdis mempunyai nilai yang tinggi dan Karbhari nilai lebih rendah dari pengujian. Dengan demikian rumus-rumus yang diusulkan oleh Mander dan ACI 440 dapat digunakan untuk perhitungan beton terkekang CFRP karena nilainya ada dibawah nilai pengujian.



Gambar 4.8 Barchart perbandingan hasil pengujian dan analisa kuat tekan.

- 3) Kolom uji yang diberi CFRP juga mengalami peningkatan daktilitas μ , terutama pada lapisan 1 CFRP daktilitas meningkat sebesar 188.6 %, pada lapis ke 2 CFRP sebesar 277.8 %. sedangkan lapis 3 CFRP meningkat sebesar 318.1 %, sehingga kolom terkekang CFRP 2 lapis dan CFRP 3 lapis yang memenuhi syarat daktilitas penuh $\mu \geq 5.0$ sesuai dengan SNI 03-1726-2002 dan dapat dimanfaatkan untuk melakukan perkuatan struktur di wilayah gempa.





BAB 5.

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian kolom uji berpengekang CFRP 1 lapis, 2 lapis dan 3 lapis dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan, adanya peningkatan kuat tekan dan daktilitas, pada saat di beri CFRP yaitu sebesar 101.3% untuk 1 lapis CFRP, 141.8% untuk 2 lapis CFRP, 173.5% untuk 3 lapis CFRP, dan untuk peningkatan daktilitasnya yaitu sebesar $\mu_e = 4.393$ untuk 1 lapis CFRP, $\mu_e = 6.467$ untuk 2 lapis CFRP, dan $\mu_e = 7.408$ untuk 3 lapis CFRP. Semakin banyak lapisan CFRP, kuat tekan dan daktilitas kolom semakin meningkat.
- 2) Dari data pengujian pemberian CFRP pada kolom untuk 1 lapis mengalami peningkatan yang signifikan tapi dengan adanya penambahan lapisan CFRP menjadi 2 lapis dan 3 lapis kekuatan kolom tidak meningkat sebanyak pada pemberian lapisan 1, ini di tunjukan juga pada data hasil perhitungan dengan rumus Pullido, Fardis, Mander, ACI Committee, dan Karbhari. Hal ini disebabkan pada lapisan 1 CFRP didukung oleh kekuatan beton f_c kolom, maka perkuatan memakai lapisan CFRP akan lebih efektif jika kuat tekan kolom dinaikkan dibandingkan dengan menambah tebal lapisan CFRP.
- 3) Dari hasil analisis yang dilakukan didapatkan peningkatan kapasitas kolom terkekang CFRP jika dibandingkan dengan kondisi hanya terkekang tulangan. Hal ini berarti kapasitas kolom dengan kekangan CFRP yang diberikan mampu menahan beban ultimit yang diberikan dan dapat menerima beban tambahan dari perubahan fungsi bangunan tersebut, sehingga dapat diaplikasikan di daerah rawan gempa.
- 4) Aplikasi CFRP pada kolom dapat membuat kolom lebih kuat dari sebelumnya dengan memperhatikan fungsi bangunan dan artistik kolom tersebut.

5.1 Saran

- 1) Dari hasil penelitian disarankan menggunakan rumus ACI Committe dan mander dalam penerapan dilapangan untuk mengetahui nilai dari kuat tekan suatu kolom yang terkekang CFRP.
- 2) Penelitian ini merupakan penelitian awal, sehingga masih diperlukan penelitian lanjutan mengenai peningkatan dan kuat tekan dan daktilitas elemen struktur terutama pada kolom persegi dan segi lainnya, dengan memberikan variasi mutu beton, variasi pembebanan meliputi beban aksial maupun siklik lateral dan jumlah lapisan CFRP.
- 3) Penelitian kolom yang diperkuat FRP sebaiknya menampilkan kapasitas kolom seperti kapasitas aksial tekan dan tarik serta momen lentur dan momen *balanced* sehingga akan membantu dalam perencanaan kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad Nurjaman dan Faisal Kasanofa, 2009. *Analisis Perkuatan Kolom Beton Bertulang dengan Menggunakan FRP (Fiber Reinforced Polymer)*. Skripsi, Jurnal ITB. Bandung.
- Ferguson Phil M. 1991. *Dasar-Dasar Beton Bertulang Versi SI, Edisi Keempat*. Jakarta: Erlangga.
- Hirang, Madindi. 2008. *Pengaruh Kelangsingan Kolom Beton Bertulang Berpenampang Lingkaran Terhadap Kekuatan nominal*. Skripsi, Universitas Jember. Jember.
- Kanti, Endah. 2006. *Pengaruh Penggunaan Carbon Fiber Reinforced Polymer Terhadap Perilaku Lentur Struktur Balok Beton Bertulang*. Tesis, Jurnal Teknik Sipil Universitas Diponegoro. Semarang.
- Karina, Andhini S.P. 2009. *Analisis Daktilitas Kurvatur Pada Kolom Beton Bertulang Terkekang*. Skripsi. Jurnal ITS. Surabaya.
- Nawy P.E, Edward G. 1998. *Beton Bertulang Suatu Pendekatan Dasar*. Bandung : PT Refika Aditama.
- Perumalsamy, Antonio Nanni, James Giancaspro. 2009. *FRP Composites for Rainforced and Prestressed Concrete Structures*. Taylor And Francis. New York : USA.
- Rosyidah, Anis. 2006. *Peningkatan Daktilitas Balok Beton Bertulang Dengan Menggunakan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)*. Tesis, Jurnal ITS. Surabaya.
- Standar Nasional Indonesia. (2002). *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton, SNI 03-2847-2002*. Bandung: itspress.
- Tua Sianipar, marolop. 2009. *Analisis Kolom Beton Bertulang persegi yang diperkuat Menggunakan CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer)*. Skripsi, Jurnal USU. Sumatra Utara.