

ANALISA KAPASITAS DAN DESAIN PERKUATAN KOLOM BULAT STRUKTUR GEDUNG AKIBAT PENAMBAHAN LANTAI GEDUNG

Wachid Hasyim

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Wiralodra, Indramayu

Abstract

Change of building function by addition of classroom's number on existing building will make influence of existing building strength. Based on concrete compressive strength test results with the Hammer test produces some concrete compressive strength value of the average with a value below the standard , which amounted to 16 Mpa in the column K2 . Design of Strengthening by CFRP performed on the column K2 is applied thoroughly and partially with the width and spacing of each of 100 mm and 400 mm. Based on analysis result, obtained f_l and f'_{cc} value of the mounted CFRP fully and discrete with value of each 6,336 Mpa and 36 996 MPa and 1,584 MPa and 21,227MPa, in addition to CFRP ratio value of each obtained 0,396 and 0,099.

Keywords : *Concrete compressive strength ($f'c$), CFRP, f_l , f'_{cc} ,*

Abstrak

Perubahan fungsi gedung yang berupa penambahan ruang pada gedung lantai 1 akan mempengaruhi kekuatan struktur dari gedung eksisting. Hasil uji kuat tekan beton dengan uji Hammer menghasilkan beberapa nilai kuat tekan beton rata-rata dengan nilai dibawah standar, yaitu sebesar 16 Mpa di kolom K2. Desain perkuatan dilakukan pada kolom K2 menggunakan CFRP yang diaplikasikan secara menyeluruh dan parsial dengan lebar dan jarak spasi masing-masing sebesar 100 mm dan 400 mm. Berdasarkan hasil analisis didapatkan nilai f_l dan f'_{cc} dari CFRP yang dipasang menyeluruh dan parsial masing-masing sebesar 6,336 dan 36,996 Mpa dan 1,584 dan 21,227 Mpa, selain itu nilai rasio CFRP masing-masing didapatkan sebesar 0,396 dan 0,099.

Kata kunci : *kuat tekan beton ($f'c$), CFRP, f_l , f'_{cc} ,*

I. PENDAHULUAN

Pemodelan struktur gedung dilakukan sesuai dengan fungsi dan masa layan dari gedung yang direncanakan dengan mempertimbangkan beban-beban serta bentuk dan konfigurasi komponen struktur dari gedung yang akan dibangun. Perubahan fungsi gedung pada masa layan akan mengakibatkan perubahan terhadap beban-beban yang bekerja pada sebagian maupun seluruh komponen gedung. Pemberian perkuatan pada komponen struktur dinilai akan lebih menguntungkan daripada harus merubah dimensi dan merubah konfigurasi dari stuktur gedung. Perubahan yang terjadi dapat juga disebabkan oleh penambahan jumlah lantai gedung sehingga berat sendiri struktur akan meningkat, sehingga selain pada komponen kolom dan balok, diupayakan perubahan tidak terjadi pada pondasi, mengingat tingkat kesulitan dalam perkuatan pondasi akan menjadi lebih sulit.

Penambahan jumlah ruang kelas baru pada gedung eksisting dengan satu lantai dianggap sebagai cara hemat untuk mengembangkan sarana perkuliahan, mengingat biaya yang dibutuhkan untuk penggunaan lahan dan biaya konstruksi akan jauh lebih mahal. Perencanaan penambahan ruang harus mempertimbangkan kekuatan struktur dari kondisi eksisting gedung. pemeriksaan terhadap kapasitas nominal kolom dalam menahan beban lebih diutamakan mengingat kegagalan kolom lebih memiliki resiko tinggi dibanding komponen lain. Perkuatan struktur kolom perlu dilakukan apabila kapasitas nominal tidak cukup untuk menahan beban ultimit yang terjadi.

Penambahan CFRP pada kolom berfungsi untuk meningkatkan kuat tekan kolom sehingga komponen struktur berperilaku sebagai kolom komposit. Selain untuk meningkatkan kuat tekan, CFRP juga berfungsi sebagai kekangan pada kolom. Aplikasi CFRP dapat dilakukan secara menyeluruh maupun parsial sesuai dengan kuat tekan kolom komposit yang diperlukan. Perbedaan lebar lapisan CFRP diharapkan dapat mengetahui efektivitas penggunaan CFRP pada kolom bulat apabila CFRP dipasang secara penuh maupun secara parsial.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Perkuatan yang digunakan dipertimbangkan terhadap efektivitas, efesiensi biaya, ketersediaan bahan dan tenaga serta kemudahan dalam pelaksanaan, sehingga perkuatan yang digunakan dapat berupa komponen komposit yang memiliki berat volume lebih ringan supaya berat struktur tambahan tidak membebani struktur secara keseluruhan. Perkuatan dengan bahan komposit *fiber polymer* saat ini menjadi alternatif material perkuatan mengingat jenis dan bentuk material yang tersedia dapat disesuaikan terhadap kebutuhan bentuk dan kekuatan tambahan pada komponen struktur.

Material *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) tersusun atas beberapa material sesuai dengan bentuk dari material perkuatan, diantaranya : CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*), GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*), dan AFRP (*Aramid Fiber Reinforced Polymer*). Perkuatan struktur dapat dilakukan secara internal dan eksternal, dimana perkuatan internal dapat dilakukan dengan penambahan tulangan FRP, sedangkan secara eksternal dapat dilakukan dengan menambahkan lapis CFRP sehingga komponen struktur dapat berlaku sebagai struktur komposit.

Perkuatan komponen balok dengan CFRP dipertimbangkan terhadap kekuatan lentur dan geser dari komposit antara beton eksisting dengan CFRP, sedangkan pada komponen kolom perkuatan dilakukan dengan memberikan lapis CFRP sehingga kekangan CFRP pada kolom dapat meningkatkan kekuatan dan daktilitas dari kolom tersebut. Menurut ACI.440.R(2008), FRP lebih efektif sebagai kekangan pada kolom bulat. Hal ini disebabkan oleh kekangan yang seragam pada arah radial kolom yang dikekang pada arah transversal.

Kuat nominal pada kolom beton dengan FRP dipengaruhi oleh konfigurasi tulangan, jarak antar tulangan dan jenis sengkang. Menurut Bank (2006), kuat tekan kolom beton dengan beban eksentris dianalisa menggunakan diagram interaksi dengan menghitung nilai beban aksial dan momen nominal pada 3 titik : yaitu, titik A, dimana $P_0 = \max$ dan $M_n = 0$, titik B, dimana $P_n = 0,8P_0$ dan $M_n = P_n \cdot e$, titik C, dimana $P_n = \max$ dan $M_n = \max$, titik D, titik dimana $P_n = 0$ dan $M_n = \max$. titik-titik tersebut menggambarkan kondisi aksial murni, aksial

dan momen dengan eksentrisitas minimum, aksial dan momen dalam kondisi seimbang, dan momen lentur murni. Kuat nominal kolom pada masing-masing titik tersebut dapat dihitung dengan persamaan-persamaan berikut :

- a. Titik A dan B dengan nilai eksentrisitas minimum, $e=0,1 h$ dan nilai c pada titik A dan B

$$P_0 = 0.85 \psi f'_{cc} + (A_g - A_{st})f_y + f_y A_{st} \quad (1.a)$$

$$P_{nmax} = 0.80 P_0 \quad (1.b)$$

$$M_n = P_{nmax} \cdot e_{min} \quad (1.c)$$

- b. Titik C, dengan nilai c pada kondisi seimbang

$$P_n = 0.85 \psi f'_{cc} b a + A_{st} f_y + A_s f_s \quad (1.d)$$

$$M_n = 0.85 \psi f'_{cc} b a \left(\frac{h}{2} - \frac{a}{2} \right) + A_{si} f_{si} \left(\frac{h}{2} - d_1 \right) + A_{si} f_{si} \left(d_i - \frac{h}{2} \right) \quad (1.e)$$

Dimana :

- P_n = kuat tekan nominal kolom
- M_n = Momen nominal kolom
- A_{si} = luas tulangan
- f_{si} = tegangan pada tulangan
- d_i = jarak tulangan ke sisi beton

Dimana nilai blok tekan c dan ϵ_{ccu} pada titik A dan B, dihitung menurut persamaan berikut :

$$c = d \quad (2.a)$$

Sedangkan titik C pada kondisi seimbang dihitung menurut persamaan :

$$c = d \frac{\epsilon_{ccu}}{\epsilon_{sy} + \epsilon_{ccu}} \quad (2.b)$$

- c. Titik D, dengan nilai c pada kondisi seimbang

Regangan tekan ultimit beton dengan kekangan lateral (ϵ_{ccu}), dihitung sebagai berikut :

$$\epsilon_{ccu} = \epsilon'c \left(1,5 + 12K_b \frac{f_l}{f'c} \left(\frac{\epsilon'fc}{\epsilon'c} \right)^{0,45} \right) \quad (3.b)$$

Pola tegangan-regangan untuk menentukan kuat nominal terhadap aksial dan momen dari kolom beton dengan perkuatan CFRP, dihitung nilai kuat tekan komposit (f'_{cc}), regangan efektif (ϵ_{fe}), dihitung menurut persamaan-persamaan berikut :

$$f'_{cc} = f'c + 3.3K_a f_l \quad (4)$$

$$\epsilon_{fe} = \min (0,004, k\epsilon \epsilon_{fu}) \quad (5.a)$$

$$\epsilon_{fe} = k\epsilon \cdot \epsilon_{fu} \quad (5.b)$$

Nilai K_a dan K_b untuk kolom bulat menurut ACI.440R (2008), ditentukan sebagai berikut :

$$K_a = 1 \quad (6.a)$$

$$K_b = 1 \quad (6.b)$$

Nilai kuat kekangan lateral untuk kolom bulat dihitung menurut persamaan berikut :

$$f_l = \frac{\Psi f'_{cc} 2E_f t_f \epsilon_{fe} n_{FRP}}{D} \quad (7)$$

Sedangkan menurut Achillopoulou (2012), untuk kekangan dengan pemasangan secara tidak penuh, maka nilai f_l dapat dihitung sebagai berikut :

$$f_l = \frac{\Psi f'_{cc} 2E_f t_f \epsilon_{fe} n_{FRP}}{D} \cdot \frac{b_f}{p_f}$$

Rasio perkuatan CFRP, menurut ACI.440R (2008), harus lebih dari 0,08 yang dihitung menurut persamaan berikut :

$$\rho = \frac{f_l}{f'c} \quad (8)$$

Dimana :

- A_g = luas penampang kolom
- b = lebar penampang
- c = tinggi blok tekan
- d = jarak tepi tekan ke tulangan tarik
- E_f = modulus elastisitas tarik FRP
- ϵ_{ccu} = regangan tekan ultimit beton dengan kekangan
- f_c = kuat tekan kolom beton
- f_y = kuat leleh tulangan baja
- f_l = tegangan kekangan dari FRP jacket

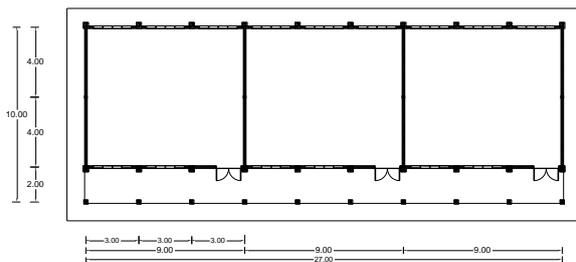
- f'_{cc} = kuat tekan maksimum beton dengan kekangan
- ϵ_{fe} = regangan efektif CFRP
- n_{FRP} = jumlah lapis CFRP
- t_f = ketebalan CFRP
- D = diameter kolom bulat
- ψ_f = faktor reduksi lingkungan

III. Metodologi

Perubahan maupun penambahan fungsi dari struktur gedung akan memberikan penambahan beban pada konstruksi, sehingga desain stuktur harus mempertimbangkan kekuatan dari struktur eksisting.

a. Data gedung eksisting

Gedung eksisting merupakan gedung perkuliahan satu lantai menggunakan konstruksi beton bertulang dan akan dikembangkan menjadi dua lantai menggunakan konstruksi yang sama.



Gambar 1. denah gedung eksisting

Dimensi komponen struktur eksisting berupa kolom, balok dan pelat seperti pada tabel 1. Komponen pada lantai 2 direncanakan menggunakan dimensi yang sama dengan komponen eksisting.

Pembebanan terdiri atas beban mati dan beban hidup dengan distribusi beban mati akibat sendiri dan beban tambahan yang bekerja pada lantai serta beban hidup pada lantai. Beban dan distribusi pembebanan seperti pada tabel 2.

Tabel 1. Dimensi komponen struktur

No	Komponen	Dimensi (m)		
		Lebar (b)	Tinggi (h)	Diameter (D)
1	K1	0,30	0,30	-
2	K2	-	-	0,25
3	K3	0,20	0,25	-
3	B1	0,25	0,40	-
4	B2	0,20	0,25	-
5	PL1	-	0,15	-

Kombinasi pembebanan yang digunakan akibat beban mati dan beban hidup, yaitu : $C1=1,4D$ dan $C2 = 1,2D+1,6L$, dimana D adalah beban mati dan L adalah beban hidup.

Tabel 2. Distribusi pembebanan

No	Uraian	Beban (Ton/m)		
		X	Y	Z
1	Beban mati			
	-B.S. komponen		luas.BJ	
	-B. dinding	-	0,25	-
	-B. penggantung	-	0,007	-
	-B.keramik	-	0,025	-
	-B.spesi	-	0,021	-
2	Beban hidup			
	B.hidup lantai	-	0,25	-

b. Kuat bahan struktur eksisting

Kuat bahan struktur yang harus diperiksa dari kondisi gedung eksisting diantaranya adalah kuat tekan beton ($f'c$) dan kuat leleh tulangan baja (f_y).

a. Pengujian kuat tekan beton dengan *Schmidt Rebound Hammer Test*, Pengujian hammer merupakan pengujian untuk mengetahui kekerasan dan kekuatan, yaitu kekuatan permukaan elemen beton. Oleh karena itu permukaan yang akan diuji perlu dibersihkan atau pembukaan selimut beton dan dihaluskan permukaannya. Pengujian Hammer dapat dilakukan dengan meletakkan Hammer tegak lurus atau sejajar terhadap permukaan beton. Pembacaan skala diambil dari grafik yang terdapat pada alat penguji Hammer.

b. Kuat leleh tulangan baja didapatkan dari spesifikasi yang disertakan oleh produsen baja.

Tabel 3. Konfigurasi tulangan komponen

No	Komponen	Dimensi (m)		
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan
1	K1	12Ø16		
2	K2	6Ø16		
3	K3	8Ø16		
3	B1	5Ø16	5Ø16	5Ø16
4	B2	2Ø16	5Ø16	2Ø16

c. Konfigurasi tulangan eksisting, jumlah dan susunan tulangan dari komponen struktur balok dan kolom dapat dilihat pada tabel 3.

c. Analisa struktur

Analisa dilakukan dengan pendekatan *Finite Elemen Method* (FEM), dimana struktur memiliki derajat kebebasan di 3 arah rotasi dan 3 arah translasi, sehingga model dianggap sebagai sebuah struktur *space frame* dengan arah translasi dan rotasi di sumbu x,y dan z baik di sumbu lokal maupun sumbu global.

Pemodelan dan analisa struktur menggunakan software bantu Staad Pro v.8i. Analisis bertujuan untuk mencari gaya dalam pada komponen struktur dengan maksud untuk merencanakan ulang kekuatan struktur terhadap pembebanan akibat penambahan ruang kelas baru.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil uji kuat tekan beton menggunakan alat *Hammer Test*, didapatkan nilai kuat tekan beton rata-rata dari masing-masing komponen struktur, seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian kuat tekan beton

No	Komponen	Kuat tekan rata-rata (f'c) Mpa	Keterangan
1	K1	21	Lantai 1 dan 2
2	K2	16	Lantai 1 dan 2
3	K3	18	Lantai 1 dan 2
4	B1	21	Lantai 1
5	B2	20	Lantai 1 dan 2

Sedangkan untuk kuat leleh tulangan, digunakan tulangan dengan jenis U-39 dan U-24 untuk tulangan longitudinal dan sengkang.

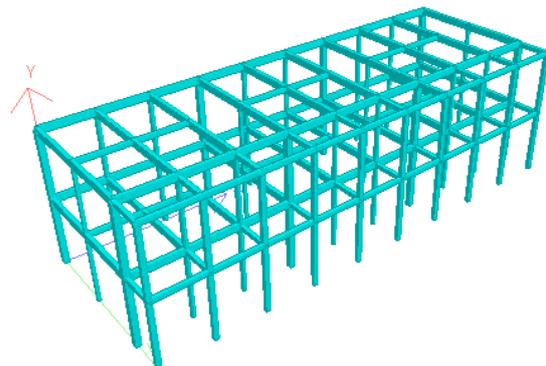
a. Hasil Analisis struktur

Berdasarkan analisa, didapatkan gaya-gaya dalam pada komponen-komponen balok dan kolom dengan gaya aksial, geser, dan momen lentur. Analisa dilakukan dengan software bantu Staad pro v.8i dengan model *space frame*.

Mutu bahan yang digunakan dalam perencanaan ruang tambahan, yaitu :

- a. Kuat tekan beton (f'c) = 22,5 Mpa
- b. Kuat leleh baja (fy) - U39 = 390 mpa
- c. Kuat leleh baja (fy) - U24 = 240 mpa
- d. Ø tulangan longitudinal = 16 mm

e. Ø tulangan geser = 10 mm



Gambar 2. Perspektif gedung

Hasil dari analisa struktur menggunakan software bantu Staad Pro v.8i berupa gaya dalam balok dan kolom dapat dilihat pada tabel 5 dan 6, berikut :

Tabel 5.a. Nilai gaya dalam maksimum balok

	Beam	L/C	Fx Mton	Fy Mton	Mz MTon-m
B1					
Max Fx	79	C2	0.132	7.773	5.669
Min Fx	7	C2	0.017	3.89	0.785
Max Fy	29	C2	0.053	9.105	8.095
Min Fy	81	C2	0.056	-10.078	11.93
Max Mz	8	C2	0.067	-10.071	11.957
Min Mz	81	C2	0.056	-1.625	-12.891
B2					
Max Fx	171	C2	0.9	-0.078	-0.79
Min Fx	71	C2	-0.068	1.58	1.367

Tabel 5.b. Nilai gaya dalam maksimum balok

	Beam	L/C	Fx Mton	Fy Mton	Mz MTon-m
Max Fy	67	C2	-0.02	3.89	5.15
Min Fy	7	C2	-0.06	-0.639	0.232
Max Mz	70	C2	-0.025	3.8	5.151
Min Mz	67	C2	-0.02	1.867	-0.566

Tabel 6. Nilai gaya dalam maksimum kolom

	Member	L/C	Fx Ton	Fy Tton	Mz Ton-m
K1					
Max Fx	13	C2	17.23	-0.011	0.036
Min Fx	99	C2	0.60	-0.218	-0.652
Max Fy	31	C2	11.087	0.31	0.66
Min Fy	5	C2	10.517	-0.322	-0.375
Max Mz	5	C2	9.79	-0.322	0.912
Min Mz	102	C2	0.668	-0.288	-0.85

K2					
Max Fx	28	C2	23.5	0.038	0.06
Min Fx	125	C2	0.578	0.06	0.118
Max Fy	106	C2	0.926	0.075	0.162
Min Fy	122	C2	0.716	-0.028	-0.066
Max Mz	106	C2	0.926	0.075	0.162
Min Mz	106	C2	0.926	0.075	-0.1
K3					
Max Fx	60	C2	.658	0.00	0
Min Fx	16	C2	0.19	-0.09	-0.263
Max Fy	155	C2	0.65	0.107	0.292
Min Fy	16	C2	0.19	-0.09	-0.263
Max Mz	155	C2	0.65	0.107	0.292
Min Mz	16	C2	0.19	-0.09	-0.263

Nilai $\frac{Pu}{\phi}$ dan $\frac{Mu}{\phi}$ pada masing-masing kolom di lantai 1 beserta nilai Pn dan Mn dalam kondisi seimbang, dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7.a. Nilai rasio beban ultimit

Member	Komponen	$\frac{Pu}{\phi}$	$\frac{Mu}{\phi}$	P balance	M balance
2	K1	124.618	10.33389	718.07	111.13
5	K1	158.6752	12.77389	718.07	111.13
12	K1	202.9929	1.007786	718.07	111.13
13	K1	262.8603	1.125643	718.07	111.13

Tabel 7.b. Nilai rasio beban ultimit

Member	Komponen	$\frac{Pu}{\phi}$	$\frac{Mu}{\phi}$	P balance	M balance
21	K1	202.9972	1.081129	718.07	111.13
22	K1	262.8585	1.212571	718.07	111.13
30	K1	131.416	5.556371	718.07	111.13
31	K1	167.2762	6.523286	718.07	111.13
54	K3	44.54223	2.956629	382.67	54.11
55	K3	46.22058	0	382.67	54.11
56	K3	40.95637	0	382.67	54.11
57	K3	70.2338	0	382.67	54.11
58	K3	44.11558	0	382.67	54.11
59	K3	41.30322	0	382.67	54.11
60	K3	70.27248	0	382.67	54.11
61	K3	43.87349	0	382.67	54.11
62	K3	43.30611	0.115271	382.67	54.11
63	K3	46.13142	0	382.67	54.11

b. Perkuatan CFRP (Carbon Fibre Reinforced Polymer)

Hasil uji kuat tekan beton dengan hammer test menunjukkan hasil uji yang bervariasi, hasil uji pada kolom K2 menunjukkan nilai di bawah persyaratan

struktur, sehingga perkuatan perlu dilakukan pada kolom K2.

Kolom K2 merupakan kolom bulat dengan diameter 0,25 m, perkuatan dilakukan dengan memberikan lapis CFRP sehingga diharapkan kuat tekan beton dapat meningkat.

Perkuatan CFRP didesain dengan properti, seperti berikut :

- Tebal CFRP, tf = 1,2 mm
- Lebar CFRP, bf = 100 mm
- Kuat tarik, ffu* = 3100 MPa
- Modulus elastis, Efu = 165.000 Mpa
- Regangan tarik, εfu* = 0,017
- Faktor reduksi dan lingkungan, ψf = 0,95
- Lapis CFRP, nFRP = 1 lapis
- Kuat tekan beton, f'c = 16 Mpa
- Kuat leleh tulangan, fy = 390 Mpa
- Modulus baja, Es = 200.000 Mpa
- Luas tulangan, As = 1206,372 mm²
- Diameter kolom, D = 350 mm
- Spasi antar CFRP, pf = 400 mm
- Jarak tepi tekan, d = 170 mm
- Tinggi, h=0,8D = 200 mm

Nilai-nilai ffu dan εfu didapatkan setelah nilai direduksi dengan faktor lingkungan, sehingga nilai-nilai tersebut adalah :

$$ffu = ffu \cdot \psi_f = 2945 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{fu} = \epsilon_{fu} \cdot \psi_f = 0,01615$$

Nilai kuat tekan kolom komposit (f'cc), dihitung sebagai berikut :

$$\epsilon_{fe} = 1 \cdot 0,01615 = 0,009 > 0,004$$

$$\epsilon_{fe} = 0,004$$

$$f_1 = \frac{0,95 \times 2 \times 165.000 \times 1,2 \times 0,004 \times 1}{250} = 6,336$$

$$\rho = \frac{6,336}{16} = 0,396$$

$$K_a = K_b = 1$$

$$f'_{cc} = 16 + 3.3 \times 1 \times 6,336 = 36,909$$

Sedangkan regangan ultimit dengan kekangan (εccu), dihitung sebagai berikut :

$$\epsilon_{ccu} = 0,002 \left(1,5 + 12 \times 1 \times \frac{6,336}{16} \left(\frac{0,004}{0,002} \right)^{0,45} \right) = 0,016$$

Nilai gaya aksial dan momen pada masing-masing titik, yaitu :

1. Titik A dan B

$$P_n(A) = 1662281.293$$

$$P_n(B) = 1329825.035$$

$$M_n(B) = 22607025.59$$

2. Titik C dan D

$$P_n(C) = 936227.212$$

$$M_n(C) = 47837054.926$$

$$P_n(D) = 0$$

$$M_n(D) = 36405984.201$$

Berdasarkan perhitungan nilai rasio kekangan lateral (fl) dengan kuat tekan beton (f'c), maka nilai tersebut masih bisa dioptimalkan, yaitu dengan menganggap bahwa lapis CFRP dipasang secara parsial dengan lebar CFRP dan spasi pemasangan masing-masing sebesar 100 mm dan 400 mm (bf=100 mm dan pf=400 mm), sehingga nilai fl, ρ, dan eccu bisa dihitung sebagai berikut :

$$f_l = \frac{0,95 \times 2 \times 165.000 \times 1,2 \times 0,004 \times 1}{250} \times \frac{100}{400} = 1,584$$

$$\rho = \frac{1,584}{16} = 0,099$$

$$f'_{cc} = 16 + 3.3 \times 1 \times 1,584 = 21,227$$

$$eccu = 0,002 \left(1,5 + 12 \times 1 \times \frac{1,584}{16} \left(\frac{0,004}{0,002} \right)^{0,45} \right) = 0,006$$

Kuat tekan dan kuat kekang lateral dari kolom komposit dihitung dan digambarkan dalam diagram interaksi dengan memperhitungkan gaya-gaya yang terjadi pada beberapa kondisi aksial dan momen.

Kondisi aksial dan momen pada titik A dan B, dengan nilai c = d, dan nilai c pada titik C menurut persamaan 2.b.

$$c = 170$$

$$e_{sy} = \frac{390}{200.000} = 0,002$$

$$c = d \frac{eccu}{e_{sy} + eccu} = 129,552$$

Nilai aksial dan momen pada masing-masing titik, yaitu :

1. Titik A dan B

$$P_n(A) = 1055969.189$$

$$P_n(B) = 844775.351$$

$$M_n(B) = 14361180.969$$

2. Titik C dan D

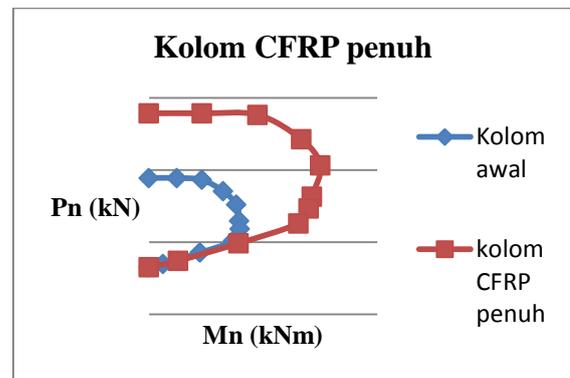
$$P_n(C) = 488775.976$$

$$M_n(C) = 35677591.142$$

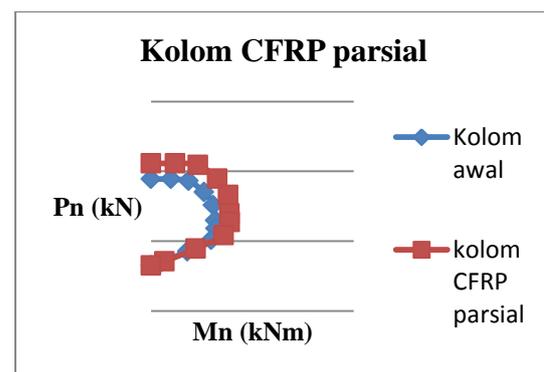
$$P_n(D) = 0$$

$$M_n(D) = 33757391.835$$

Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai Pn dan Mn dalam kondisi seimbang masing-masing sebesar 488.775,976 N dan 35.677.591,142 Nmm atau sebesar 49,837740 Ton dan 3,637844 Tonm. Hasil perbandingan antara gaya aksial ultimit dan momen ultimit dengan aksial dan momen nominal akibat komposit yaitu masing-masing sebesar 0,47153 dan 0,080267.



Gambar 3. Diagram interaksi kolom CFRP penuh



Gambar 3. Diagram interaksi kolom CFRP parsial

V. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan, dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Kegagalan terjadi pada kolom K2 eksisting, mengingat kuat tekan beton (f_c) eksisting kolom K2 memiliki nilai 16 Mpa, sehingga kolom K2 harus diberi perkuatan.
2. Beban aksial ultimit (P_u) dan momen ultimit (M_u) akibat penambahan ruang kelas di lantai 2 di kolom K2 masing-masing sebesar 23,5 Ton dan 0,292 Ton m.
3. Analisa Perkuatan kolom K2 dilakukan menggunakan CFRP yang diaplikasikan secara menyeluruh dan secara parsial dengan lebar dan jarak pemasangan masing-masing 100 mm dan 400 mm.
4. Nilai kuat kekangan lateral (f_l) dan kuat tekan komposit (f_{cc}) pada kondisi aplikasi CFRP secara menyeluruh masing-masing sebesar 6,336 dan 36,996 Mpa dengan nilai rasio CFRP sebesar 0,396.
5. Nilai kuat kekangan lateral (f_l) dan kuat tekan komposit (f_{cc}) pada kondisi aplikasi CFRP secara menyeluruh masing-masing sebesar 1,584 dan 21,227 Mpa dengan nilai rasio CFRP sebesar 0,099.
6. Nilai P_n dan M_n kolom komposit dalam kondisi seimbang pada kondisi aplikasi CFRP secara parsial masing-masing sebesar 49,837740 Ton dan 3,637844 Tonm dengan rasio tegangan aksial dan lentur masing-masing sebesar 0,47153 dan 0,080267.

DAFTAR PUSTAKA

- Achillopoulou, et al (2012), *Square Reinforced Concrete Columns Strengthened Through Fiber Reinforced Polymer (Frp) Sheet Straps*, Conference: The 6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering -- CICE2012. Rome 13 - 15 of June 2012.
- ACI Committee 440 (2008), *Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*, ACI.440.R 2008.
- Bank Lawrence E (2006), *Composites For Construction: Structural Design With FRP Materials*, John Wiley & Sons, Inc.