

KAJIAN PERKUATAN STRUKTUR GEDUNG YANG DISESUAIKAN DENGAN SNI GEMPA 03-1726-2012 KOTA SEMARANG STUDI KASUS GEDUNG KULIAH UTAMA FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS DIPONEGORO

Bayu Dwi Satrio, Gema Putra Pratama, Sri Tudjono ^{*)}, Hardi Wibowo ^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Gedung Kuliah Utama Fakultas Teknik Universitas Diponegoro merupakan bangunan konstruksi yang mulai dibangun pada Juni 2010 dan direncanakan selesai pada November 2010. Namun hingga bulan Oktober 2015, Gedung Kuliah Utama Fakultas Teknik Universitas Diponegoro masih belum dapat dioperasikan karena proses konstruksi yang bermasalah. Perencanaan konstruksi gedung masih menggunakan peraturan yang lama yaitu SNI Gempa 03-1726-2002. Pada saat ini peraturan gempa yang berlaku telah diperbaharui yaitu menjadi SNI Gempa 03-1726-2012. Maka dari itu Gedung Kuliah Utama Fakultas Teknik Universitas Diponegoro perlu dikaji kembali agar sesuai dengan peraturan yang baru. Tujuan dari kajian ini adalah merencanakan perkuatan struktur agar Gedung Kuliah Utama Fakultas Teknik Universitas Diponegoro dapat memenuhi kriteria desain SNI Gempa 03-1726-2012. Metode kajian dilakukan dengan mengumpulkan data pengujian material saat proses konstruksi. Data ini menjadi acuan untuk menentukan mutu material yang digunakan pada proses analisa kapasitas penampang. Kemudian mendesain struktur berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2012 menggunakan SAP2000 sehingga menghasilkan gaya-gaya pada setiap komponen struktur. Output gaya-gaya tersebut kemudian dibandingkan dengan kapasitas penampang komponen struktur yang dihitung secara manual berdasarkan SNI Beton 03-2847-2013. Apabila gaya-gaya yang dihasilkan dari analisa SAP2000 lebih besar dari kapasitas penampang, maka perlu dilakukan perkuatan. Komponen struktur yang ditinjau adalah balok, kolom, joint, pondasi dan sloof dengan jenis perkuatan yang akan digunakan adalah perkuatan fiber reinforced polimer (FRP) yang sesuai dengan standar ACI 440 dan concrete jacketing. Dari hasil analisa berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2012 menunjukkan beberapa elemen pada struktur Gedung Kuliah Utama Fakultas Teknik Universitas Diponegoro tidak mampu menahan beban yang bekerja. Beberapa tipe balok tidak mampu menahan geser pada kondisi sendi plastis sehingga perlu adanya perkuatan. Perkuatan yang digunakan pada elemen ini adalah perkuatan geser FRP. Selain balok, kolom juga tidak mampu menahan beban aksial dan momen. Untuk kolom dilakukan perkuatan dengan concrete jacketing karena perkuatan ini lebih efektif dibandingkan dengan perkuatan menggunakan FRP.

kata kunci: perkuatan struktur gedung, perkuatan menggunakan selimut beton, perkuatan menggunakan fiber reinforced polimer.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

ABSTRACT

The Main Lecture Building of Engineering Faculty of Diponegoro University construction process start form June 2010 and be expected to finish at November 2010 but until October 2015 this building can not used as it planned because the construction process have some trouble. Design of this building still use the old guidance that is Earthquake SNI 03-1726-2002. This day that guidance has been updated become Earthquake SNI 03-1726-2012. Because of that this building need to studied so the building can accord with the new guidance. The purpose of this study is to design the structure strengthening so the building can accord with the new guidance. The method of this study is collect the data of laboratory examination. This data will use to determine the quality of materials for calculate nominal capacity. Then redesign the structure using SAP 2000 so that we can know the forces in every element of this structure. Then compere these forces with nominal capacity of the existed structure which is manually calculate under guidance of Concrete SNI 03-1726-2013. If the forces from SAP 2000 analysis bigger than the nominal capacity then the element need strengthening. The reviewed element are beam, column, joint and caisson foundation with strengthening use fiber reinforced polymer under guidance of ACI 440 and concrete jacketing. The result of analysis based on Earthquake SNI 03-1726-2012 show that some element in this building can not hold the forces. Beam can not hold the shear forces. Because of that, beam need the FRP shear strengthening to increase the nominal capacity. Beside beam, column also can hold the forces there are axial and moment. Because of this column need to use the concrete jacketing method to increase the nominal capacity. Concrete jacketing method more efficient than FRP strengthening for column.

keywords: *building structure strengthening, strengthening use fiber reinforced polymer, strengthening use concrete jacketing.*

PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang sering digunakan untuk struktur sebuah bangunan. Banyak bangunan yang telah berdiri menggunakan beton sebagai elemen utamanya. Hal ini dikarenakan bahan baku beton relatif mudah diperoleh dan metode pembuatannya sederhana.

Pada dasarnya beton memiliki batas kekuatan tertentu yang tidak boleh terlampaui. Apabila batas kekuatan ini terlampaui maka akan terjadi keruntuhan. Selain batas kekuatan yang terlampaui, keruntuhan beton juga bisa terjadi akibat faktor usia, kesalahan desain awal, perawatan yang kurang baik, dan bencana alam seperti gempa bumi. Keruntuhan pada beton dapat dicegah dengan cara perkuatan struktur. Dengan memberikan perkuatan struktur maka akan meningkat kapasitas beton pada struktur yang telah menurun kekuatannya sehingga dapat mencapai kekuatan rencana kembali. Hasil dari perkuatan struktur ini diharapkan bangunan tetap memenuhi persyaratan kekuatan, keamanan, dan kenyamanan bagi pengguna.

Perkuatan struktur juga dapat diterapkan akibat adanya perubahan peraturan desain seperti perubahan SNI Gempa 03-1726-2002 menjadi SNI Gempa 03-1726-2012. Perubahan ini memberikan konsekuensi berubahnya respon spektrum gempa yang terjadi pada kota-kota yang ada di Indonesia seperti kota Semarang. Pedoman SNI 03-1726-2002 mengacu pada UBC 1997 yang menggunakan gempa 500 tahun (10% terlampaui dalam 50 tahun umur

bangunan), sedangkan peraturan-peraturan gempa modern sudah menggunakan gempa 2500 tahun (2% terlampaui dalam 50 tahun umur bangunan) seperti pada NEHRP 1997 dst, ASCE 7-98 dst dan IBC 2000 dst, sedangkan RSNI-1726-2010 (sekarang SNI-1726-2012) mengacu pada ASCE 7-10 (Mulia, 2011). Pada kota Semarang menurut pedoman SNI 03-1726-2002 percepatan puncak batuan dasarnya adalah 0,10 g sedangkan menurut pedoman SNI 03-1726-2012 percepatan puncak batuan dasar periode pendek adalah 1,0 – 1,2 g dan percepatan puncak batuan dasar periode 1 detik adalah 0,3 – 0,4 g.

Dengan adanya perubahan pedoman desain ini perlu adanya investigasi mengenai kekuatan struktur gedung yang ada di kota Semarang. Gaya-gaya yang perlu diperhitungkan di dalam struktur bisa jadi akan menjadi lebih besar dibandingkan dengan desain awal. Kapasitas struktur bangunan, misalnya kapasitas momen dan geser balok dan kolom, perlu dianalisis apakah masih mampu menahan gaya akibat adanya perubahan yang terjadi. Pada studi ini yang dijadikan objek studi adalah Gedung Kuliah Utama Fakultas Teknik Universitas Diponegoro. Gedung ini direncanakan pada tahun 2009 menggunakan pedoman SNI Gempa 03-1726-2002, sehingga layak untuk dijadikan objek studi.

DATA EKSISTING

Untuk memulai analisa kapasitas penampang yang sesuai dengan keadaan nyata dilapangan diperlukan data mutu material yang sesuai dengan keadaan nyata dilapangannya. Data yang diperoleh berasal dari pengujian material di Laboratorium. Data yang ada kemudian diolah secara statistik dengan melakukan penaksiran parameter yaitu penaksiran rata-rata dengan langkah sebagai berikut.

- 1... Menghitung rata-rata $(\bar{x}) = \frac{\sum xi}{n}$ (1)
- 2... Menghitung standar deviasi $(s) = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n - 1}}$ (2)
- 3... Menentukan koefisien kepercayaan (γ)
- 4... Menghitung koefisien kesalahan $(\alpha) = 1 - \gamma$ (3)
- 5... Menghitung derajat kebebasan $(dk) = n - 1$ (4)
- 6... Menghitung batas bawah $= \bar{x} - tp \frac{s}{\sqrt{n}}$, dengan tp sesuai dengan distribusi daftar G .. (5)
- 7... Menghitung batas atas $= \bar{x} + tp \frac{s}{\sqrt{n}}$, dengan tp sesuai dengan distribusi daftar G (6)

Setelah didapat batas atas dan batas bawah data yang tersedia disortir sehingga data yang berada diluar batas atas dan batas bawah tidak dapat digunakan. Kemudian data yang telah disortir dihitung nilai rata-rata nya dan nilai lah yang mewakili mutu material yang digunakan untuk perhitungan selanjutnya. Untuk data material yang telah dihitung dan akan digunakan untuk perhitungan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Mutu Material yang Digunakan

Material	Mutu (MPa)
Beton	18,353
fy Tulangan Ulir	472,624
fu Tulangan Ulir	705,890
fy Tulangan Polos	409,898
fu Tulangan Polos	609,998

ANALISA STRUKTUR

Analisa struktur dilakukan dengan menggunakan bantuan program SAP 2000. Untuk pedoman yang digunakan adalah SNI Gempa 03-1726-2012. Hasil keluaran dari analisa struktur ini akan dibandingkan dengan kapasitas penampang yang tersedia.

KAPASITAS PENAMPANG

Perhitungan kapasitas penampang dilakukan untuk mengetahui besar gaya yang mampu ditahan oleh penampang yang sudah terbangun. Kapasitas ini kemudian dibandingkan dengan gaya yang terjadi pada struktur gedung dengan menggunakan beban gempa sesuai dengan SNI Gempa 03-1726-2012.

Balok

Kapasitas penampang balok yang ditinjau adalah terhadap lentur dan geser. Untuk perhitungan kapasitas lentur dilakukan dengan langkah sebagai berikut.

1. Mencari garis netral penampang (C) dengan menerapkan persamaan semua gaya tekan pada penampang sama dengan gaya tarik pada penampang.
2. Setelah didapat nilai C kemudian menghitung momen kapasitas balok (M_n) dengan cara menghitung resultan momen terhadap titik berat penampang.
3. Kemudian momen kapasitas ini dibandingkan dengan momen yang terjadi pada balok. Besarnya momen yang terjadi harus lebih kecil dari momen kapasitas dikalikan dengan faktor reduksi. Apabila hal ini terpenuhi maka tidak perlu adanya perkuatan, apabila terjadi sebaliknya maka perlu adanya perkuatan. Untuk melihat perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 2.

Selain harus kuat terhadap momen, balok juga harus kuat terhadap geser yang terjadi. Untuk menghitung geser yang terjadi dan kapasitas geser balok yang ada dilakukan sebagai berikut.

1. Menghitung gaya geser yang terjadi akibat adanya goyangan. Untuk menghitung gaya geser yang terjadi adalah meresultankan momen yang terjadi pada tumpuan. Pada kasus ini momen yang terjadi adalah momen kapasitas penampang karena momen kapasitas inilah yang merupakan momen terbesar yang mampu ditahan oleh penampang. Kemudian resultan momen ini dibagi dengan panjang balok sehingga menjadi gaya geser.
2. Menghitung kapasitas geser penampang. Pada sendi plastis kapasitas yang ada hanya kontribusi dari baja tulangan karena beton sudah mengalami *crack* pada penampangnya. Sehingga kapasitas geser dan dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$V_s = \frac{A_s \cdot f_y}{s} \cdot d \dots\dots\dots(7)$$

dimana :

- A_s = Luas area penampang tulangan
- f_y = Kekuatan leleh tulangan yang diisyaratkan
- s = Spasi antar tulangan geser
- d = Jarak dari serat tekan terjauh ke pusat tulangan tarik longitudinal

3. Kemudian kapasitas geser ini dibandingkan dengan gaya geser yang terjadi pada balok. Besarnya gaya geser yang terjadi harus lebih kecil dari kapasitas geser dikalikan dengan faktor reduksi. Apabila hal ini terpenuhi maka tidak perlu adanya perkuatan, apabila terjadi sebaliknya maka perlu adanya perkuatan. Untuk melihat perbandingannya dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 2. Perbandingan Momen yang Terjadi dan Momen Kapasitas Balok

Balok	Jenis Momen	Mu (kNm)	Mn (kNm)	Keterangan
Balok B	Positif	381,874	1079,950	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	744,088	1171,540	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B1	Positif	306,457	737,789	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	650,992	909,850	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B1A	Positif	225,763	504,612	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	409,608	640,058	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B1B	Positif	171,551	504,612	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	369,894	640,058	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B2	Positif	101,175	289,384	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	256,254	351,928	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B2A	Positif	112,039	289,384	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	272,772	351,928	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B3	Positif	31,768	161,986	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	71,327	161,986	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B3A	Positif	44,539	161,986	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	22,500	161,986	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B4	Positif	29,261	99,917	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	78,238	99,917	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B4A	Positif	6,702	99,917	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	24,180	99,917	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B7	Positif	66,447	201,316	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	92,816	201,316	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B7A	Positif	21,187	219,979	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	63,897	300,751	Tidak Perlu Diperkuat
Balok BK	Positif	6,099	283,334	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	251,005	498,428	Tidak Perlu Diperkuat
Balok BK1	Positif	2,661	574,640	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	299,470	984,680	Tidak Perlu Diperkuat
Balok BK2	Positif	0,000	574,640	Tidak Perlu Diperkuat
	Negatif	417,938	984,680	Tidak Perlu Diperkuat

Tabel 3. Perbandingan Gaya Geser yang Terjadi Dengan Kapasitas Geser Balok

Balok	Vsway (kN)	Vn (kN)	Keterangan
Balok B	396,671	634,601	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B1	387,019	548,728	Tidak Perlu Diperkuat
Balok B1A	278,644	347,141	Perlu Diperkuat
Balok B1B	276,167	347,141	Perlu Diperkuat
Balok B2A	229,347	282,737	Perlu Diperkuat
Balok B2	193,181	282,737	Tidak Perlu Diperkuat

Kolom

Untuk menghitung kapasitas kolom yang perlu dilakukan adalah membuat diagram interaksi aksial dan momen. Untuk membuat diagram ini diperlukan kapasitas tiga kondisi kolom yaitu kondisi aksial murni, *balance*, dan kondisi lentur murni. Berikut ini langkah yang dilakukan untuk membuat diagram interaksi aksial dan momen pada kolom.

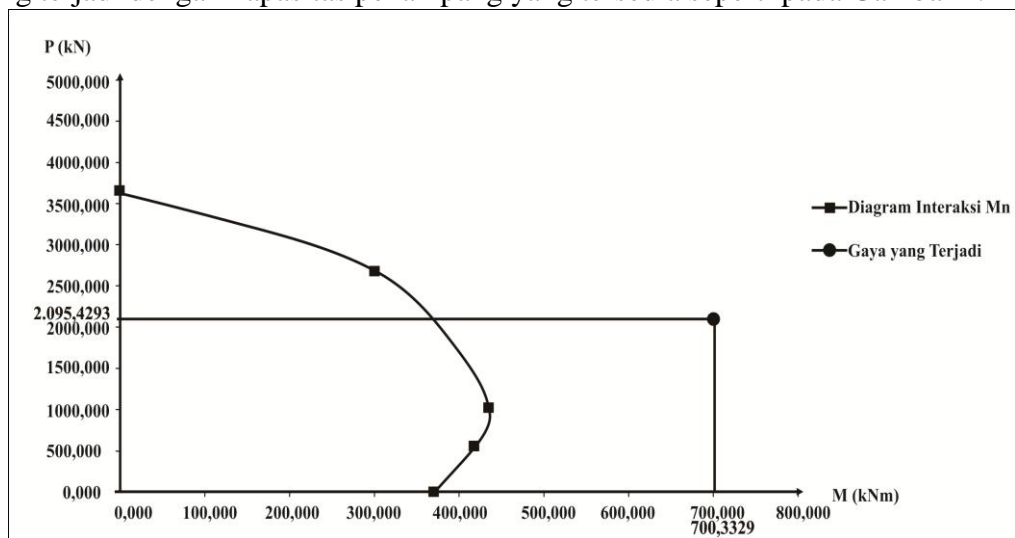
1. Kondisi aksial murni, pada kondisi ini kolom tidak menahan momen hanya menahan aksial. Untuk mengetahui besarnya gaya aksial yang mampu ditahan oleh kolom dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P_o = 0,85 \times f'_c \times (A_c - A_s) + A_s \times f_y \dots\dots\dots(8)$$

dimana :

- A_c = Luas area penampang kolom
- f'_c = Kekuatan tekan beton yang disyaratkan

2. Kondisi *balance*, pada kondisi ini kolom menahan gaya aksial dan momen. Pada kondisi ini terjadi keruntuhan beton tekan dan lelehnya tulangan tarik secara bersamaan yaitu pada saat regangan beton 0,003 pada saat itu pula tulangan tarik mencapai regangan lelehnya. Untuk menghitung kapasitas pada kondisi ini secara umum sama seperti menghitung momen kapasitas balok hanya saja nilai garis netral yang sudah ditetapkan diawal (C_b) perhitungan, sehingga resultan gaya tarik dan gaya tekan pada penampang tidak sama besarnya. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kapasitas kondisi ini sebagai berikut.
3. Kondisi lentur murni, untuk menghitung momen kapasitas (M_n) pada kondisi ini dilakukan langkah yang sama untuk menghitung momen kapasitas pada balok hanya perlu menyesuaikan dengan penampang yang tersedia. Kemudian bandingkan gaya yang terjadi dengan kapasitas penampang yang tersedia seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Perbandingan Gaya Aksial dan Momen yang Terjadi Dengan Kapasitas Penampang Kolom

Selain terhadap aksial dan momen kolom juga harus kuat terhadap geser untuk menghitung gaya geser yang terjadi sama seperti menghitung gaya geser pada balok. Akan tetapi terdapat perbedaan dari kapasitas yang geser yang tersedia karena adanya kontribusi dari beton dengan persamaan sebagai berikut.

$$V_s + V_c = \frac{A_s \cdot f_y}{s} \cdot d + \frac{\sqrt{f_c}}{6} \times b \cdot x \cdot d \dots\dots\dots (9)$$

Perbandingan gaya geser yang terjadi dengan kapasitas geser kolom dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perbandingan Gaya Geser yang Terjadi Dengan Kapasitas Geser Kolom

Kolom	V _{sway} (kN)	V _n (kN)	Keterangan
Kolom K1A	380,562	578,052	Tidak Perlu Diperkuat
Kolom K2	253,450	345,216	Tidak Perlu Diperkuat
Kolom K3	225,174	345,216	Tidak Perlu Diperkuat
Kolom K4	204,893	345,216	Tidak Perlu Diperkuat
Kolom K5	195,969	345,216	Tidak Perlu Diperkuat
Kolom K6	92,431	242,374	Tidak Perlu Diperkuat

Joint Sambungan

Joint sambungan harus bisa menahan gaya geser yang terjadi. Gaya geser dan kapasitas dari joint bisa dihitung dengan langkah berikut.

1. Gaya geser yang terjadi pada joint dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_u = T_1 + T_2 - V_{sway} \dots\dots\dots (10)$$

dimana :

T₁ = Gaya tarik tulangan momen positif

T₂ = Gaya tarik tulangan momen negatif

V_{sway} = Gaya geser akibat goyangan pada kolom

2. Untuk kapasitas geser yang mampu ditahan oleh joint dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$V_n = 1,7 \sqrt{f_c} A_g \dots\dots\dots (11)$$

dimana :

A_g = Luas bidang joint

Perbandingan gaya geser yang terjadi dan kapasitas joint dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Gaya Geser yang Terjadi Dengan Kapasitas Geser Joint

Joint	Elemen Yang Bertemu	V _u (kN)	V _n (kN)	Keterangan
1	Kolom K1A, Kolom K2, Balok B, Balok B1A	2462,742	1092,436	Perlu Diperkuat
2	Kolom K2, Kolom K3, Balok B, Balok B1B	2357,866	1092,436	Perlu Diperkuat
3	Kolom K3, Kolom K4, Balok B, Balok B1B	2357,866	1092,436	Perlu Diperkuat
4	Kolom K4, Kolom K5, Balok B, Balok B1B	2375,858	1092,436	Perlu Diperkuat

Pondasi

Pondasi harus mampu menahan gaya vertikal, lateral, momen dan geser yang terjadi. Untuk menghitung kapasitas pondasi dilakukan dengan langkah berikut.

1. Menghitung daya dukung pondasi dengan berbagai metode kemudian diambil metode yang memberikan daya dukung paling kecil. Persamaan untuk menghitung daya dukung pondasi sebagai berikut.

$$Q_{ult} = 0,85 \times A_b \times f'_c \quad (\text{Berdasarkan Kekuatan Bahan}) \dots\dots\dots (12)$$

$$Q_{ult} = q_c \times A_b + f_s \times A_s \quad (\text{Berdasarkan Nilai } q_c \text{ dan } f_s) \dots\dots\dots (13)$$

$$Q_{ult} = A_b \times \gamma \times L \times N_q \times \tan\phi + f_s \times A_s \quad (\text{Berdasarkan Nilai } \phi \text{ Tanah}) \dots\dots\dots (14)$$

$$Q_{ult} = 40 \times N_b \times A_b + 0,5 \times N \times A_s \quad (\text{Berdasarkan Nilai N-SPT}) \dots\dots\dots (15)$$

dimana :

- A_b = Luas area penampang beton
- q_c = *Conus resistance* ujung pondasi
- f_s = *Total friction*
- A_s = Keliling penampang pondasi
- γ = Berat jenis tanah
- L = Panjang pondasi sumuran
- N_q = Koefisien sudut geser tanah
- ϕ = Sudut geser tanah
- N_b = Nilai N-SPT pada elevasi dasar pondasi sumuran
- N = Nilai N-SPT rata-rata

2. Menghitung tahanan lateral pondasi, tahanan lateral pondasi berasal dari tekanan tanah pada pondasi tersebut. Untuk menghitung gaya lateral yang bekerja pada pondasi adalah meresultankan momen yang ada pada kolom dan membaginya dengan tinggi kolom. Untuk tahanan lateral pada pondasi berasal dari tekanan tanah pada sekitar pondasi.
3. Untuk mengetahui kapasitas momennya digunakan cara yang sama dengan kolom yaitu menggunakan diagram interaksi dan karena penampang pondasi yang lingkaran maka digunakan bantuan *software* PCA-COL untuk menggambar diagram interaksinya. Untuk kapasitas gesernya juga sama seperti kolom ada kontribusi dari beton dan baja tulangan.

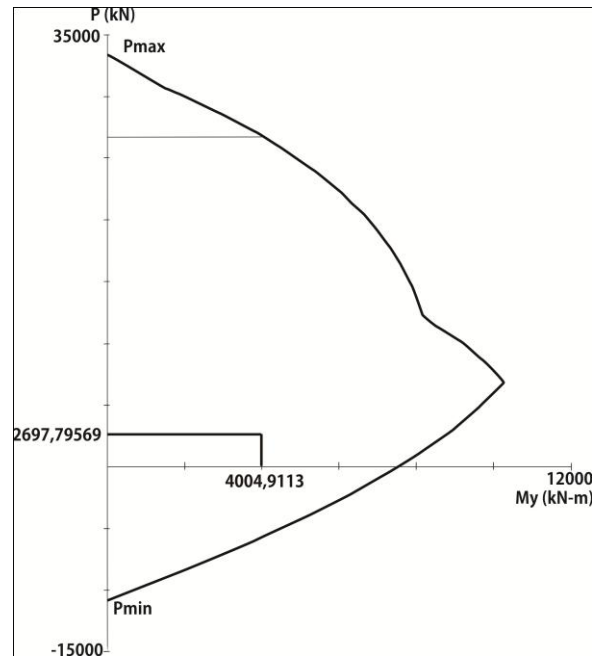
Untuk mengetahui perbandingan gaya yang terjadi dengan kapasitas penampang pondasi yang tersedia dapat dilihat pada Tabel 6 serta Gambar 2 untuk melihat diagram interaksi pondasi.

Tabel 6. Perbandingan Gaya yang Terjadi dan Kapasitas Penampang Pondasi

Pondasi	Gaya Vertikal		Gaya Lateral		Keterangan
	V_u (kN)	Q_{all} (kN)	H_u (kN)	Q_u (kN)	
P1	2697,796	3208,565	749,931	2103,072	Tidak Perlu Diperkuat
P2	2430,787	2903,160	749,931	1986,235	Tidak Perlu Diperkuat
P3	2065,176	2337,227	749,931	1752,560	Tidak Perlu Diperkuat
P4	1748,402	1831,130	749,931	1518,886	Tidak Perlu Diperkuat

Sloof

Sloof adalah balok yang berfungsi menghubungkan kolom untuk menyeragamkan penurunan yang terjadi pada struktur. Sloof menahan 10 persen gaya aksial yang terjadi pada kolom. Gaya aksial ini akan ditahan oleh tulangan dari sloof untuk mengitung kapasitas dari sloof ini digunakan persamaan 16.



Gambar 2. Perbandingan Gaya Aksial dan Momen yang Terjadi Dengan Kapasitas Penampang Pondasi (PCA-COL)

$$P_o = A_{st} \times f_y \dots\dots\dots (16)$$

dimana :

A_{st} = Luas area penampang tulangan sloof

Perbandingan gaya tarik yang terjadi dengan kapasitas sloof dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Gaya yang Terjadi Dengan Kapasitas Penampang Sloof

Sloof	Pu (kN)	Po (kN)	Keterangan
S1	269,780	536,226	Tidak Perlu Diperkuat
S1a	269,780	1258,125	Tidak Perlu Diperkuat
S1b	269,780	1078,393	Tidak Perlu Diperkuat
S1c	269,780	1078,393	Tidak Perlu Diperkuat
S1d	269,780	718,929	Tidak Perlu Diperkuat
S2	269,780	539,196	Tidak Perlu Diperkuat

PERKUATAN STRUKTUR

Hasil dari perbandingan kapasitas elemen yang tersedia dengan gaya yang terjadi menunjukkan ada beberapa elemen yang tidak mampu untuk menahan beban yang bekerja sehingga perlu adanya perkuatan struktur. Perkuatan yang dilakukan adalah balok terhadap geser, kolom terhadap aksial dan momen serta joint sambungan.

Balok

Untuk menambah kapasitas geser balok dilakukan dengan cara memasang *Fiber Reinforced Polymer* (FRP). FRP yang digunakan untuk perkuatan ini adalah produk dari Sika Indonesia yaitu Sika Warp 231C dengan spesifikasi sebagai berikut.

Kuat tarik (f_{fu}^*) = 4800 N/mm²
 Elastisitas (E_f) = 234000 N/mm²
 ϵ_{fu}^* = 0,018
 Ketebalan (t_f) = 0,131 mm

Untuk analisa penambahan FRP dapat dilakukan dengan langkah berikut.

1. Perhitungan propertis dari FRP

Menghitung tegangan tarik FRP desain (f_{fu}) = $C_E \times f_{fu}^*$ (17)

Menghitung regangan tarik FRP desain (ϵ_{fu}) = $C_E \times \epsilon_{fu}^*$ (18)

Menghitung panjang lekatan aktif FRP (L_e) = $\frac{23300}{(n_f t_f E_f)^{0,55}}$ (19)

Menghitung faktor modifikasi kuat tekan beton (k_1) = $\left(\frac{f_c'}{27}\right)^{2/3}$ (20)

Menghitung faktor modifikasi pemasangan FRP (k_2) = $\frac{d_{fv} - L_e}{d_{fv}}$ (21)

Menghitung koefisien reduksi lekatan FRP (K_v) = $\frac{k_1 k_2 L_e}{11900 \epsilon_{fu}}$ (22)

Menghitung regangan tarik efektif FRP pada saat runtuh (ϵ_{fe}) = $K_v \times \epsilon_{fu}$ (23)

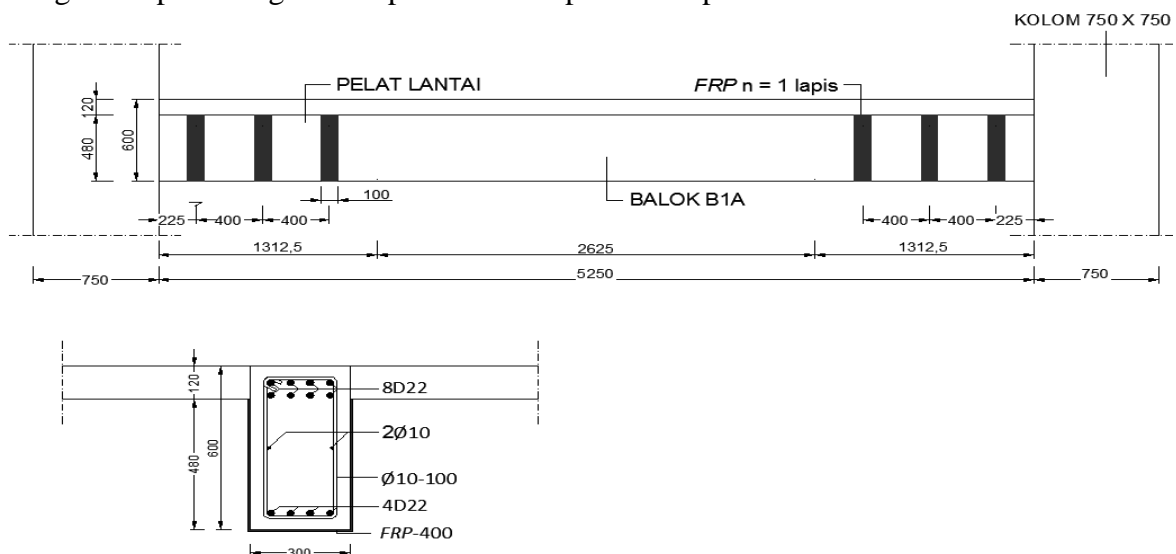
Luas area perkuatan FRP (A_{fv}) = $2n t_f w_f$ (24)

Menghitung tegangan tarik efektif FRP pada saat runtuh (f_{fe}) = $\epsilon_{fe} \times E_f$ (25)

2. Menghitung besarnya gaya geser yang akan ditahan FRP, yaitu dengan mengurangi gaya geser yang terjadi dengan kapasitas geser yang mampu ditahan oleh balok.
3. Menghitung gaya geser FRP

$V_f = \frac{A_{fv} f_{fe} (\sin\alpha + \cos\alpha) d_{fv}}{s_f}$ (26)

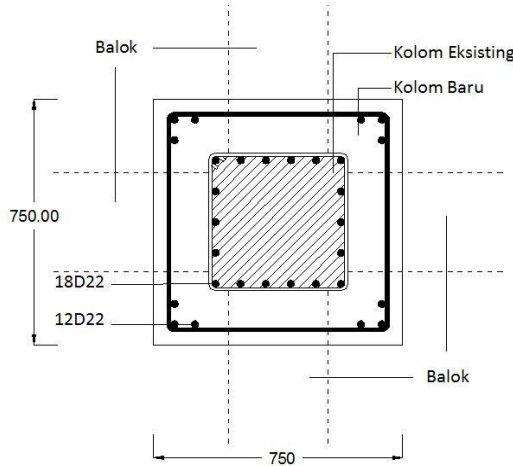
Dari persamaan diatas kita dapat menghitung spasi FRP yang digunakan. Untuk mengetahui pemasangan FRP pada balok dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Pemasangan Fiber Reinforced Polymer Pada Balok

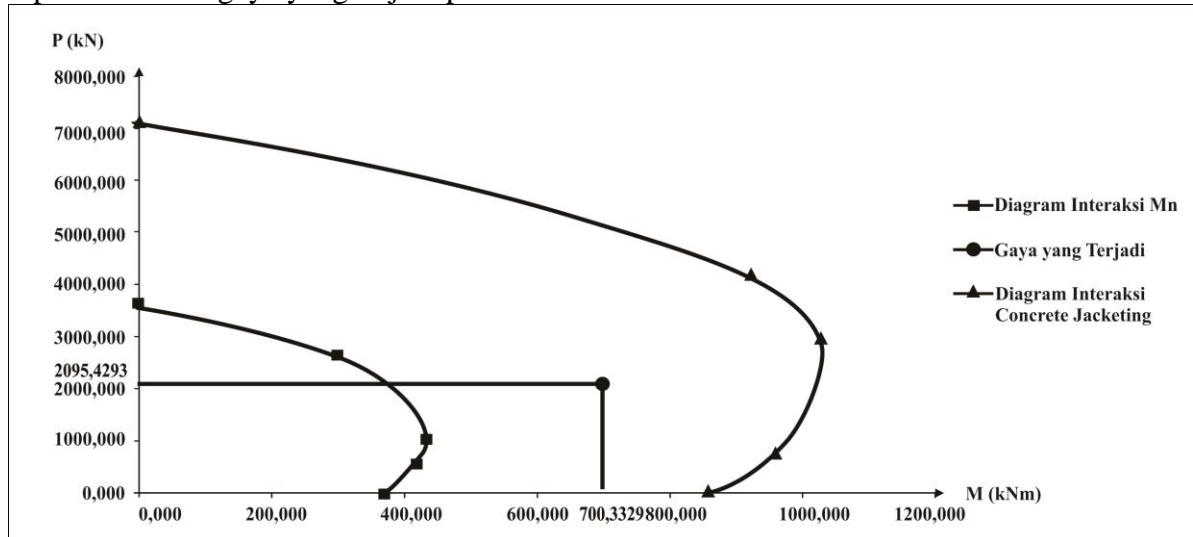
Kolom

Kolom pada struktur gedung ini membutuhkan perkuatan terhadap aksial dan momen. Metode perkuatan yang dipilih adalah *concrete jacketing* yaitu dengan menambahkan tulangan pada kolom kemudian kolom dicor ulang. Dengan metode ini memberikan penampang kolom yang lebih besar sehingga memberikan kapasitas yang lebih besar. Pada Gambar 4 menunjukkan penampang kolom yang telah diperbesar.



Gambar 4. Penampang Kolom yang Telah Diperbesar

Untuk analisa kapasitas penampang kolom ini sama dengan analisa kapasitas kolom eksisting hanya saja penampangnya yang berubah sehingga perlu adanya penyesuaian. Pada Gambar 5 akan menunjukkan diagram interaksi kolom sebelum dan sesudah diperbesar serta gaya yang terjadi pada kolom.



Gambar 5. Perbandingan Diagram Interaksi Kolom Sebelum dan Sesudah Diperbesar

Dari Gambar 5 dapat ditarik kesimpulan metode ini efektif untuk meningkatkan kapasitas penampang kolom.

Joint

Akibat adanya pembesaran kolom mengakibatkan meningkatnya luas joint. Dengan ini meningkat pula kapasitas joint yang tersedia, sehingga yang tadinya joint tidak mampu menahan gaya geser yang terjadi dengan adanya pembesaran kolom joint menjadi kuat menahan geser yang terjadi. Untuk mengetahui perbandingan gaya geser yang terjadi dengan kapasitas joint setelah kolom diperbesar dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Gaya Geser yang Terjadi Dengan Kapasitas Geser Joint Setelah Diperbesar

Joint	Elemen Yang Bertemu	Vu (kN)	Vn (kN)	Keterangan
1	Kolom K1A, Kolom K2, Balok B, Balok B1A	2462,742	4096,636	Memenuhi Syarat
2	Kolom K2, Kolom K3, Balok B, Balok B1B	2357,866	4096,636	Memenuhi Syarat
3	Kolom K3, Kolom K4, Balok B, Balok B1B	2357,866	4096,636	Memenuhi Syarat
4	Kolom K4, Kolom K5, Balok B, Balok B1B	2375,858	4096,636	Memenuhi Syarat

KESIMPULAN

Pada struktur Gedung Kuliah Utama Fakultas Teknik Universitas Diponegoro ini terdapat beberapa elemen yang tidak kuat menahan beban akibat adanya perubahan regulasi gempa di Indonesia yaitu SNI Gempa 03-1726-2002 berubah menjadi SNI Gempa 03-1726-2012. Dengan adanya elemen yang tidak kuat ini perlu dilakukan perkuatan struktur. Perkuatan struktur dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Untuk memperkuat kapasitas geser balok digunakan perkuatan geser *Carbon Fiber Reinforced Polymer*.
2. Untuk memperkuat kapasitas aksial dan momen kolom digunakan perkuatan dengan metode *concrete jacketing*. Perkuatan *concrete jacketing* terbukti lebih efisien dibandingkan dengan perkuatan menggunakan *Carbon Fiber Reinforced Polymer* pada kolom.

DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 440, 2008. *Guide for The Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*, American Concrete Institute, Farmington Hills.

Ismiyati, 2011. *Statistik dan Probabilitas Untuk Teknik Bagi Peneliti Pemula*, Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro, Semarang.

Mulia, R, 2011. *Perencanaan Respons Spektrum Sesuai ASCE 7-10*.

Standar Nasional Indonesia 03-1726-2012, 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.

Standar Nasional Indonesia 03-2847-2013, 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*, Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.