

## PEMILIHAN METODE PERBAIKAN DAN PERKUATAN STRUKTUR AKIBAT GEMPA (STUDI KASUS PADA BANK SULTENG PALU)

oleh :

**Heri Khoeri**

Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Jakarta

Email : hkhoeri@hesa.co.id

**Abstrak :** Sistem Struktur Gedung Kantor Pusat Bank Sulteng, merupakan struktur open frame dengan 1 basement dan 4 lantai di atasnya. Tidak berbeda dengan bangunan di Palu lainnya, bangunan Bank Sulteng (dahulu bernama Bank Pembangunan Daerah Sulawesi Tengah atau BPD Sulteng) pun turut terkena gempa bumi Sulawesi Tengah pada 28 September 2018 yang lalu. Gempa bumi tersebut menimbulkan kekhawatiran kepada para pengguna bangunan bank akan terjadinya kerusakan atau bahkan keruntuhan bangunan saat bangunan tersebut beroperasi. Oleh karena itu, untuk menghindari dan meminimalisir dampak buruk yang mungkin terjadi, maka pada bangunan bank tersebut telah dilakukan pengujian struktur. Setelah diketahui informasi kondisi eksisting bangunan, maka informasi tersebut dapat dijadikan dasar dalam melakukan analisis struktur. Hasil analisis struktur pada laporan akhir assessment yang dilakukan oleh PT. Hesa Laras Cemerlang merekomendasikan beberapa elemen struktur balok dan kolom harus dilakukan perbaikan dan perkuatan. Untuk memilih strategi perbaikan performa seismik dan teknik perkuatan yang tepat harus selain mempertimbangkan faktor kekuatan dan daktilitas struktur untuk menjamin keselamatan penggunanya, juga harus mempertimbangkan biaya, faktor keutamaan bangunan (misalnya bangunan strategis harus memiliki performa yang lebih dibanding rumah tinggal, karena harus tetap berfungsi pasca gempa agar tidak terjadi dampak buruk susulan akibat tidak berfungsinya bangunan strategis tersebut) dan juga aspek kemudahan dalam pelaksanaan. Alternatif perkuatan yang dikaji dalam studi ini adalah perkuatan pada kolom dengan Concrete Jacketing, Steel Jacketing dan FRP (*Fyber Reinforced Polymer*), dengan batasan alokasi biaya yang sama dilakukan perbandingan pada aspek kekuatan, kemudahan dalam pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan estetika, didapatkan hasil bahwa penggunaan FRP pada studi kasus ini merupakan alternatif yang terpilih.

**Kata Kunci :** Beton, Baja, FRP, Perkuatan, Performa seismik

**Abstract :** *The Central Bank Office Building Structure System in Southeast Sulawesi is an open frame with 1 basement and 4 floors above it. No different with other buildings in Palu, the Central Bank building Southeast Sulawesi (formerly known as the Central Sulawesi Regional Development Bank or BPD of Southeast Sulawesi) was also hit by the Central Sulawesi earthquake on September 28, 2018. The earthquake raised concerns for bank building users that the building would be damaged or even collapsed while the building was operating. Therefore, in order to avoid and minimize the bad impacts that may occur, the structure testing has been carried out in the bank building. Once the information on the existing condition of the building is known, this information can be used as a basis for conducting structural analysis. The results of the structural analysis in the final assessment report conducted by PT Hesa Laras Cemerlang recommended that several structural elements of beams and columns should be repaired and retrofitting. In order to choose the appropriate seismic performance improvement strategy and reinforcement technique, besides considering the strength and ductility of the structure to ensure the safety of its users, it must also consider the cost, the priority factor of the building (for example, a strategic building must have more performance than a residential house, because it must continue to function after earthquake so that there will be no further bad impacts due to the malfunction of the strategic building) and also the aspect of ease of implementation. The reinforcement alternatives studied in this study are reinforcement in columns with Concrete Jacketing, Steel Jacketing and FRP (*Fyber Reinforced Polymer*), with the same cost allocation limitations, comparisons were made on the*

aspects of strength, ease of implementation, implementation time, and aesthetics. The result was that the use of FRP in this case study was the chosen alternative.

**Keywords:** Concrete, Steel, FRP, Retrofitting, Seismic performa

## Pendahuluan

Hasil analisis struktur pada laporan akhir assessment kantor pusat Bank Sulteng di kota Palu yang dilakukan oleh PT. Hesa Laras Cemerlang pasca terjadinya gempa bumi 28 September 2018 di Palu, merekomendasikan beberapa elemen struktur balok dan kolom harus dilakukan perbaikan dan penguatan. Dari laporan hasil assessment tersebut direkomendasikan beberapa pilihan penguatan pada elemen struktur balok dan kolom yang dapat diaplikasikan pada Bangunan Bank Sulteng. Sebelum dilakukan implementasi pekerjaan perbaikan penguatan, dalam tahap awal (DED) *Detail Engineering Design* dilakukanlah studi ini untuk melakukan pemilihan alternatif metode perbaikan dengan batasan alokasi biaya yang sama dan aspek yang akan dipertimbangkan lainnya adalah aspek kekuatan, kemudahan dalam pelaksanaan, waktu pelaksanaan, biaya Pelaksanaan dan estetika.

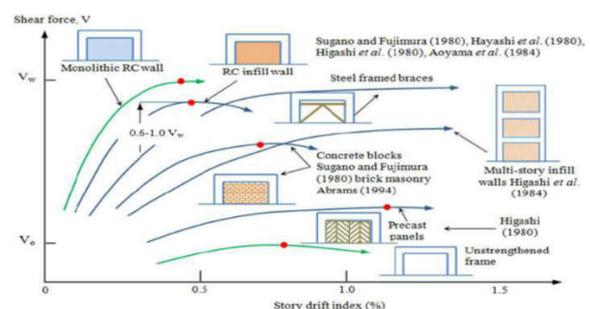
## Maksud dan Tujuan Studi Kasus

Tujuan studi ini adalah untuk dapat menentukan alternatif yang paling tepat untuk penguatan pada kolom antara metode *Concrete Jacketing*, *Steel Jacketing* dan FRP (*Fyber Reinforced Polymer*), dengan batasan alokasi biaya yang sama dilakukan perbandingan pada aspek kekuatan, kemudahan dalam pelaksanaan, waktu pelaksanaan, biaya pelaksanaan dan estetika.

## Landasan Teori

Untuk struktur gedung yang mengalami kerusakan akibat gempa, selain untuk pengembalian kondisi agar bangunan gedung dapat dipergunakan pasca gempa (*post-earthquake rehabilitation*), tentu saja penguatan yang dilakukan harus memenuhi ketentuan dalam peraturan gempa yang terbaru.

Telah banyak dilakukan penelitian untuk mendapatkan metode penguatan seismik baik untuk perbaikan *pre-earthquake* maupun perbaikan *post-earthquake*. Teknik-teknik perbaikan yang dikembangkan antara lain adalah dengan mengisi portal dengan beton atau batu bata, dengan memberikan bracing pada portal, dengan menambah kolom, dengan memperbesar kolom (*jacketing*) baik dengan beton, beton bertulang, baja ataupun dengan *Fyber Carbon*, dengan memberikan isolasi seismik, dengan mengurangi massa bangunan atau dengan menambah redaman bangunan yang kesemuanya dilakukan untuk mengurangi respons struktur saat gempa dan atau menambah kekuatan struktur.



**Gambar 1. Tipikal Hubungan Gaya Geser-Goyangan Lateral Dari Beberapa Perkuatan Portal Beton dengan Berbagai Teknik**

## Perkuatan Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Karena kolom merupakan komponen tekan, maka keruntuhan pada satu kolom merupakan lokasi kritis yang dapat menyebabkan *collapse* (runtuh) lantai yang bersangkutan dan juga runtuh batas total (*ultimite total collapse*) seluruh strukturnya. Oleh karena itu, dalam merencanakan kolom perlu memberikan kekuatan cadangan yang lebih tinggi daripada yang dilakukan pada balok dan elemen struktural horizontal lainnya, terlebih lagi karena keruntuhan tekan tidak memberikan peringatan awal yang cukup jelas. Kolom bersengkang merupakan jenis yang paling banyak digunakan karena murah harganya pembuatannya.

Triwiyono (2000) menyatakan bahwa perbaikan atau perkuatan struktur atau elemen-elemen struktur diperlukan apabila terjadi degradasi bahan yang berakibat tidak terpenuhi lagi persyaratan-persyaratan yang bersifat teknik yaitu: kekuatan (*strength*), kekakuan (*stiffness*), stabilitas (*stability*) dan ketahanan terhadap kondisi lingkungan (*durability*). Ada dua jenis perbaikan yang dapat dilakukan dalam pekerjaan *retrofitting* yaitu *repairing* dan *strengthening*.

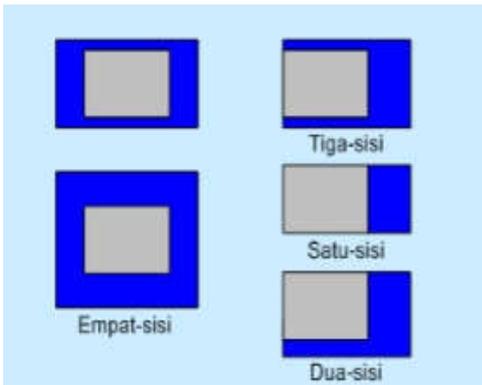
Istilah *repairing* diterapkan pada bangunan yang sudah rusak, dimana telah terjadi penurunan kekuatan, untuk dikembalikan seperti semula. Sedangkan *strengthening* adalah suatu tindakan modifikasi struktur, mungkin belum terjadi kerusakan, dengan tujuan untuk menaikkan kekuatan atau kemampuan bangunan untuk memikul beban-beban yang lebih besar akibat perubahan fungsi bangunan dan stabilitas.

## Concrete Jacketing

*Concrete jacketing* adalah suatu sistem perkuatan atau perbaikan beton dengan cara menyelimuti beton yang telah ada dengan beton tambahan. Dalam melakukan perkuatan dengan *concrete jacketing* biasanya digunakan bahan *micro concrete* yang sifatnya dapat memadat sendiri tanpa bantuan vibrator (*self compaction*) dimana *micro concrete* adalah suatu campuran beton dengan ukuran butiran agregat yang kecil ( $< 0,25$  mm), agregat yang digunakan sebagai campuran dalam *micro concrete* ini biasanya adalah pasir silika yang mempunyai gradasi yang heterogen.

Teknik perkuatan struktur ini digunakan pada kolom bangunan yang bertujuan untuk memperbesar penampang kolom, maka penampang kolom menjadi besar dari pada sebelumnya sehingga kekuatan geser beton menjadi meningkat. Agar perkuatan *concrete jacketing* ini dapat bekerja secara maksimal, maka ada beberapa spesifikasi minimum yang harus dipenuhi. Menurut dokumen CED 39 (7428), spesifikasi minimum yang harus dipenuhi antara lain:

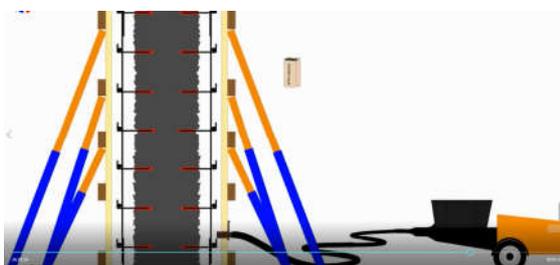
1. Mutu beton pembungkus yang harus lebih besar atau sama dari mutu beton *existing*
2. Untuk kolom yang tulangan longitudinal tambahan tidak dibutuhkan, minimum harus diberikan tulangan 12 mm di keempat ujungnya dengan sengkang d8 mm.
3. Minimum tebal *jacketing* 100 mm
4. Diameter tulangan sengkang minimum d8 mm tidak boleh kurang  $1/3$  diameter tulangan longitudinal.
5. Jarak maksimal tulangan sengkang pada daerah  $1/4$  bentang adalah 100 mm, dan jarak vertikal antar tulangan sengkang tidak boleh melebihi 100 mm.



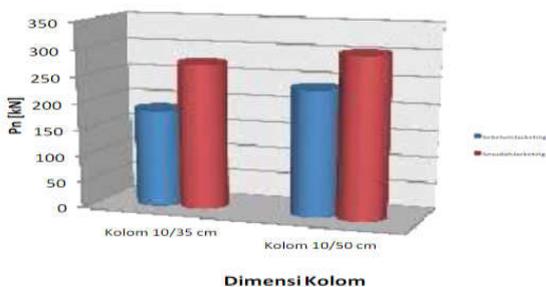
**Gambar 2. Tampak Atas Beberapa Tipe Kolom dengan Perkuatan *Concrete Jacketing***



**Gambar 3. Detail *Concrete Jacketing* pada ke Empat Sisinya**



**Gambar 4. Pelaksanaan *Concrete Jacketing***



**Gambar 5. Grafik Perbandingan Kekuatan Pmaks Kolom Sebelum dan Sesudah Menggunakan *Concrete Jacketing***

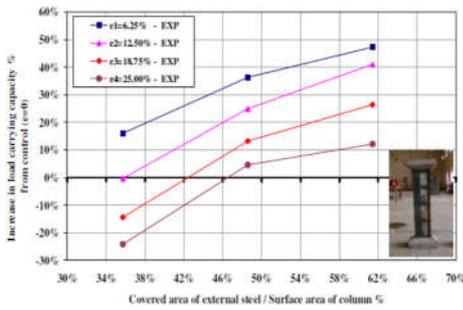
### ***Steel Jacketing***

Montuori, R. dan Piluso, V. menyajikan model teoritis fiber yang dapat memprediksi perilaku kelengkungan momen kolom beton bertulang yang dikekang dengan baja siku dan plat strap. Model yang diajukan telah digunakan untuk memprediksi perbandingan kapasitas daya dukung terhadap beban yang bekerja antara kolom yang tidak diperkuat dan yang diperkuat menggunakan *jacketing* baja, Elsamny, M.K et al. *Jacketing* baja adalah suatu teknik untuk memperkuat kolom persegi beton bertulang. *Jacketing* baja terdiri dari empat sudut baja longitudinal yang ditempatkan di setiap sudut kolom. Sudut longitudinal ini terhubung bersama menjadi sebuah kerangka yang dihubungkan dengan strap baja transversal. Hasil pengujian yang diperoleh menunjukkan bahwa gaya di sudut vertikal di sisi kompresi lebih tinggi daripada di sisi tegangan kolom. Selain itu, gaya pada tali atas lebih tinggi dari pada tali kedua dan tengah.



**Gambar 6. Ilustrasi Perkuatan Menggunakan *Steel Jacketing***

Hubungan antara area yang tertutup jaket baja dengan luas permukaan kolom dan peningkatan daya dukung kolom di bawah eksentrisitas yang berbeda berdasarkan hasil pengujian eksperimental seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



**Gambar 7. Hubungan Antara Area yang Tertutup Jaket Baja**

Hasil penelitian menunjukkan bahwa meningkatkan area tertutup *jacketing* baja serta meningkatkan luas penampang baja siku akan meningkatkan kapasitas daya dukung kolom yang diperkuat.

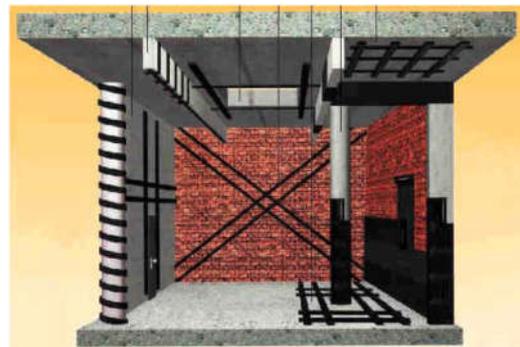
**Tabel 1. Dimensi Perkuatan Kolom dengan Menggunakan Steel Jacketing untuk Keperluan Praktis**

column Dimensions (mm)	Type Vertical external angles at corners in Ferro sides	Vertical external steel angles (dimensions (mm))	
		in compression side	in tension side
25x30x300	e1%	35 x 35 x 5	30 x 30 x 5
25x40x300	e2%	45 x 45 x 5	35 x 35 x 5
25x50x300	e3%	50 x 50 x 6	40 x 40 x 6
25x60x300	e4%	60 x 60 x 8	50 x 50 x 8
25x70x300	e5%	65 x 65 x 7	50 x 50 x 7
25x80x300	e6%	70 x 70 x 9	55 x 55 x 8
25x90x300	e7%	75 x 75 x 10	60 x 60 x 8
25x100x300	e8%	80 x 80 x 10	60 x 60 x 8
25x110x300	e9%	90 x 90 x 11	65 x 65 x 9
25x120x300	e10%	90 x 90 x 13	70 x 70 x 9
25x130x300	e11%	90 x 90 x 7	75 x 75 x 5
25x140x300	e12%	60 x 60 x 7	80 x 80 x 6
25x150x300	e13%	70 x 70 x 7	85 x 85 x 7
25x160x300	e14%	75 x 75 x 8	90 x 90 x 7
25x170x300	e15%	80 x 80 x 8	95 x 95 x 8
25x180x300	e16%	90 x 90 x 10	100 x 100 x 8
25x190x300	e17%	90 x 90 x 11	105 x 105 x 9
25x200x300	e18%	100 x 100 x 12	70 x 70 x 9
25x110x300	e19%	130 x 130 x 12	80 x 80 x 10
25x120x300	e20%	95 x 95 x 8	80 x 80 x 8
25x130x300	e21%	100 x 100 x 8	85 x 85 x 6
25x140x300	e22%	70 x 70 x 9	90 x 90 x 7
25x150x300	e23%	75 x 75 x 10	95 x 95 x 8
25x160x300	e24%	90 x 90 x 11	100 x 100 x 8
25x170x300	e25%	90 x 90 x 11	105 x 105 x 9
25x180x300	e26%	100 x 100 x 12	70 x 70 x 9
25x190x300	e27%	130 x 130 x 12	75 x 75 x 10
25x110x300	e28%	180 x 180 x 12	80 x 80 x 12
25x120x300	e29%	100 x 100 x 14	100 x 100 x 10

Using horizontal steel straps 50 mm width every 500 mm along column height welded to the angles.

korosi atau pecah pada suhu kamar. Selain itu juga dapat digunakan dalam aplikasi yang memerlukan ketahanan suhu tinggi, kelembaman dan redaman sehingga material ini cocok digunakan untuk perkuatan kolom.

Konsep pengekanan atau *confinement* dapat didefinisikan sebagai pembatasan pelebaran lateral beton. Sehingga diharapkan dengan adanya pengekanan yang baik pada struktur maka mampu meningkatkan kekuatan tekan dan regangan aksial ultimit. Dalam penelitian ini akan digunakan dua jenis pengekanan yaitu tulangan baja transversal sebagai *internal confinement* dan CFRP sebagai *external confinement*.



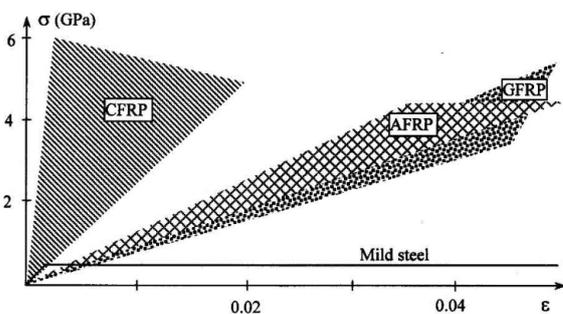
**Gambar 8. Perkuatan Struktur dengan FRP**

Material FRP yang digunakan adalah

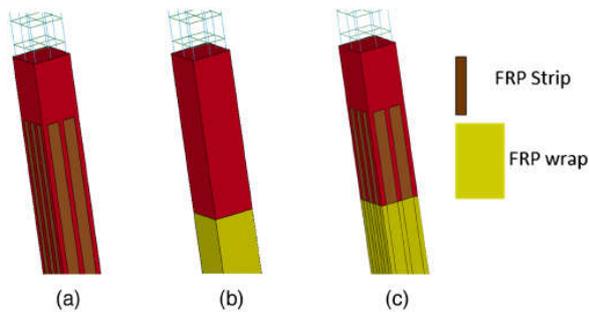
1. Carbon FRP (CFRP)
2. Aramid FRP (AFRP)
3. Glass FRP (GFRP).

**Fiber Carbon**

Carbon fiber didefinisikan sebagai serat yang mengandung setidaknya 90,00% berat karbon. Umumnya digunakan *graphite fiber* yang merupakan serat dengan karbon di atas 95,00% beratnya. Komposit *carbon fiber* cocok untuk aplikasi struktur yang harus memenuhi persyaratan kekuatan, kekakuan, ringan, dan ketahanan terhadap *fatigue*. Carbon fiber tidak menunjukkan



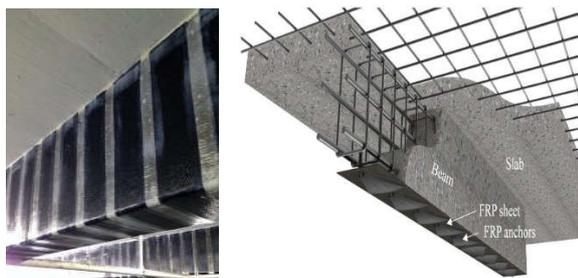
**Gambar 9. Diagram Tegangan Regangan**



**Gambar 10. Perkuatan dengan FRP: (a) FRP strip; (b) FRP wrap; (c) FRP strip and wrap**

**Perkuatan Balok**

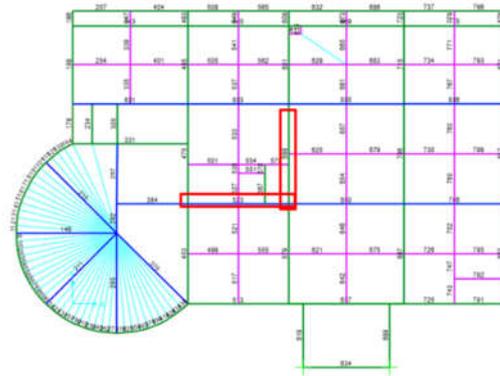
Perkuatan pada balok akan dilakukan dengan menggunakan *fyber carbon*. Sistem perkuatan menggunakan FRP dilakukan dengan cara menempelkannya pada permukaan beton dengan menggunakan perekat epoxy. FRP (*Fibre Reinforced Polymer*) merupakan bahan yang ringan, kuat, dan tahan terhadap korosi. FRP cukup mudan diaplikasikan pada beton bertulang dan terbukti ekonomis untuk memperbaiki dan meningkatkan kekuatan struktur balok. Secara umum, bahan serat yang digunakan pada FRP ada 3 jenis serat yaitu: *carbon, aramid, glass*.



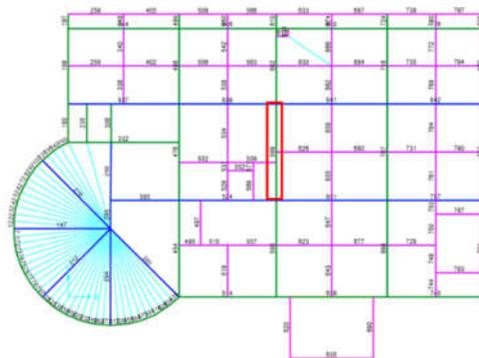
**Gambar 11. Perkuatan Balok denga FRP**

**Overview Hasil dan Rekomendasi Dari Laporan Akhir Assesment**

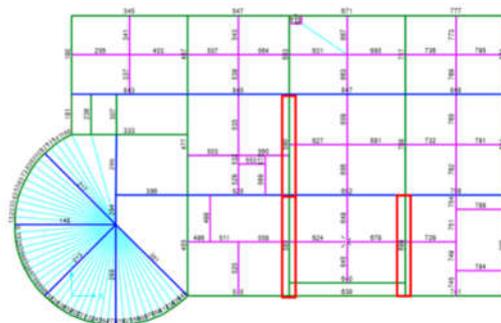
**Data Balok yang Harus Diperkuat**



**Gambar 12. Denah Balok Lantai 1 (elv-0,00 m) yang Harus Diperkuat**



**Gambar 13. Denah Balok Lantai 2 (elv-4,35 m) yang Harus Diperkuat**



**Gambar 14. Denah Balok Lantai (elv-8,7 m) yang Harus Diperkuat**

**Tabel 2. Data Teknis Balok yang Harus Diperkuat**

Frame	Length (m)	Dimensi (cm)	Lantai	Vmax (kN)	Mumax (kNm)	Failure
523	7	G4 35/70	1	258	-356	Geser
588	7	G3 30/70	1	-220	-302	Geser dan Lentur

Frame	Length (m)	Dimensi (cm)	Lantai	Vmax (kN)	Mumax (kNm)	Failure
						(Tumpuan)
589	7	G3 30/70	2	-169	-236	Geser dan Lentur (Tumpuan)
581	7	G3 30/70	3	-216	-296	Geser dan Lentur (Tumpuan)
590	7	G3 30/70	3	-206	-277	Geser dan Lentur (Tumpuan)
699	7	G3 30/70	3	-243	-318	Geser dan Lentur (Tumpuan)

Gambar potongan detail balok yang harus diperkuat seperti gambar berikut:

LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI	300x700	300x700
TULANGAN ATAS	7D22	2D22
TULANGAN PINGGANG	2D13	2D13
TULANGAN BAWAH	3D22	4D22
SENGKANG	D10-100	D10-200

Gambar 15. Detail Balok G3

LOKASI	TUMPUAN KIRI	LAPANGAN
POTONGAN		
DIMENSI	350x700	350x700
TULANGAN ATAS	7D22	4D22
TULANGAN PINGGANG	2D13	2D13
TULANGAN BAWAH	4D22	5D22
SENGKANG	D10-100	D10-200

Gambar 16. Detail Balok G4

### Perkuatan Balok

- Lantai *basement* ( $z = - 3.50$ ), tidak mengalami perubahan,
- Lantai 1 ( $z = 0.00$ ),
  - No. balok = 523, membutuhkan tulangan geser  $\varnothing 10 - 75$ .
  - No. balok = 588, membutuhkan tulangan geser & torsi  $\varnothing 13 - 50$ , dan tulangan memanjang 6D22.
- Lantai 2 ( $z = 4.35$ ),
  - No. balok = 589, membutuhkan tulangan geser & torsi  $\varnothing 13 - 50$  dan tulangan memanjang 6D22.
- Lantai 3 ( $z = 8.70$ ),
  - No. balok = 581, 590 dan 699 membutuhkan tulangan geser & torsi  $\varnothing 13 - 50$ , dan tulangan memanjang 6D22.
- Lantai 4 ( $z = 13.05$ ), tidak mengalami perubahan.

Dapat dilakukan perkuatan dengan menggunakan *Fiber Reinforced Polymer* (FRP) Sebagai pengganti tulangan geser.

### Data Kolom yang Harus Diperkuat

Tabel 3. Data Teknis Kolom *Overstress* ( $f_c' = 23,5 \text{ MPa}$ )

Lantai	As	ID	Tinggi (m)	Dimensi (cm)	Pu Max (kN)	Vu Max (kN)	Mu Max (kNm)
1	A/4	192	4.35	L60X30	-170.4	-7.1	17.0
	B/4	489	4.35	30/60	-243.0	1.4	-3.4
	C/4	605	4.35	30/60	-229.9	-1.0	2.5
	D/4	719	4.35	30/60	-241.5	-0.5	1.3
	E/4	825	4.35	L60X30	-192.3	-0.6	1.4
	E/3	816	4.35	30/60	-199.4	0.4	-1.0
	A/3	183	4.35	30/60	-153.2	-0.9	2.3
	E/2	807	4.35	30/60	-210.6	0.5	-1.2
	E/1	798	4.35	L60X30	-129.4	-5.8	13.8
	D/1	692	4.35	30/60	-513.4	-15.4	15.1
	C/1	574	4.35	30/60	-456.7	15.5	-14.6
	A'/3	309	4.35	L60X30	-974.7	2.3	-5.3
	A'/2	301	4.35	L60X30	-1033.6	12.0	-28.6
	A/2'	174	4.35	L60X30	-246.4	2.7	-6.5
2	A/4	193	4.35	L60X30	-605.4	-23.4	67.4
	B/4	490	4.35	30/60	-1024.8	8.4	-20.0
	C/4	606	4.35	30/60	-1078.6	-3.1	11.4
	D/4	720	4.35	30/60	-1010.4	3.2	7.4

Lantai	As	ID	Tinggi (m)	Dimensi (cm)	Pu Max (kN)	Vu Max (kN)	Mu Max (kNm)
	E/4	826	4.35	L60X30	-593.4	-5.1	13.7
	E/3	817	4.35	30/60	-765.5	4.2	-10.3
	A/3	184	4.35	30/60	-435.2	-2.4	8.9
	E/2	808	4.35	30/60	-834.5	3.6	-8.4
	E/1	799	4.35	L60X30	-623.0	-22.3	55.5
	D/1	693	4.35	30/60	-1065.2	6.6	-21.8
	C/1	575	4.35	30/60	-989.5	-4.6	20.2
	A'/3	310	4.35	L60X30	-731.8	1.2	-2.9
	A'/2	302	4.35	L60X30	-741.7	11.9	-27.8
	A/2'	175	4.35	L60X30	-427.4	5.3	12.1
3	A/4	194	4.35	L60X30	-363.3	-39.6	-87.1
	B/4	491	4.35	30/60	-592.6	9.7	23.9
	C/4	607	4.35	30/60	-599.3	1.7	-9.4
	D/4	721	4.35	30/60	-525.5	3.9	9,63
	E/4	827	4.35	L60X30	-313.5	-11.4	29.5
	E/3	818	4.35	30/60	-451.9	6.1	-14.6
	A/3	185	4.35	30/60	-283.6	-6.3	-13.6
	E/2	809	4.35	30/60	-514.8	6.5	-17.2
	E/1	800	4.35	L60X30	-410.4	-38.9	89.4
	D/1	694	4.35	30/60	-639.2	3.1	17.7
4	C/1	576	4.35	30/60	-585.6	-4.2	-18.8
	A'/3	311	4.35	L60X30	-468.2	1.7	3.9
	A'/2	303	4.35	L60X30	-472.5	13.8	-31.9
	A/2'	176	4.35	L60X30	-284.4	3.9	9.0
	A/4	195	4.35	L60X30	-146.9	-34.9	-77.1
	B/4	492	4.35	30/60	-212.5	10.1	-24.1
	C/4	608	4.35	30/60	-212.4	4.0	13.9
	D/4	722	4.35	30/60	-215.7	9.1	-24.0
	E/4	828	4.35	L60X30	-130.7	-16.0	-35.0
	E/3	819	4.35	30/60	-170.3	3.4	10.5
A/3	186	4.35	30/60	-111.0	-7.5	17.3	
E/2	810	4.35	30/60	-169.7	6.9	17.4	
E/1	801	4.35	L60X30	-148.9	-39.3	-91.0	
D/1	695	4.35	30/60	-205.7	-6.2	-16.5	
C/1	577	4.35	30/60	-203.0	8.6	19.4	
A'/3	312	4.35	L60X30	-195.2	1.6	3.9	
A'/2	304	4.35	L60X30	-209.4	15.3	-33.6	
A/2'	177	4.35	L60X30	-107.0	5.8	-14.8	

### Rekomendasi Perkuatan Kolom

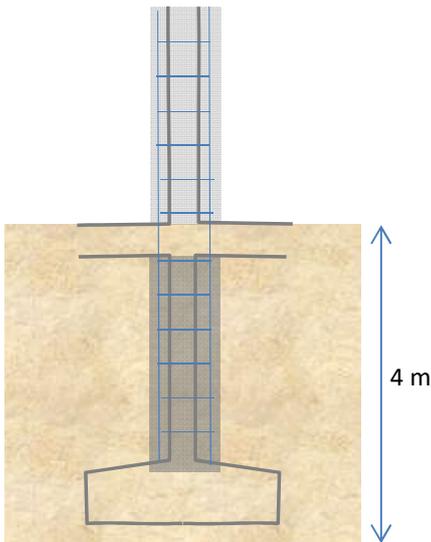
Kolom diperbesar menjadi 60 cm x 60 m dengan beton material beton low shrinkage minimal K-300

1. K5, K2, K4 : diperbaiki menjadi K60/60, dengan penulangan sebagai berikut,
  - a. Untuk level Basement – lantai 1 ( $z = -3.50$  s/d  $z = 0.00$ ), 20 D 22.
  - b. Untuk level lantai 1 – lantai 2 ( $z = 0.00$  s/d  $z = 4.35$ ), 16 D 22.

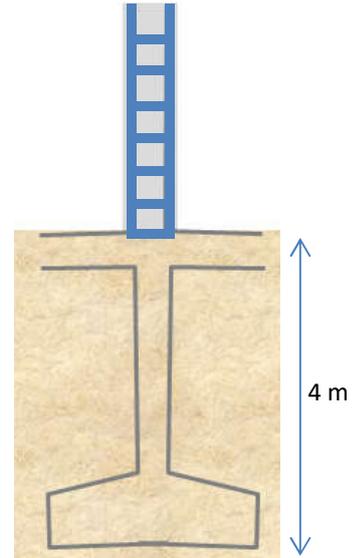
- c. untuk level lantai 2 – lantai 3 ( $z = 4.35$  s/d  $z = 8.70$ ), 12 D 22.
  - d. untuk level lantai 3 – lantai 4 ( $z = 8.70$  s/d  $z = 13.05$ ), juga 12 D 22.
2. K10 : diperbaiki menjadi K45/45, dengan penulangan sebagai berikut,
    - a. untuk level Basement – lantai 1 ( $z = -3.50$  s/d  $z = 0.00$ ), 20 D 22.
    - b. untuk level lantai 1 – lantai 2 ( $z = 0.00$  s/d  $z = 4.35$ ), 16 D 22.
    - c. untuk level lantai 2 – lantai 3 ( $z = 4.35$  s/d  $z = 8.70$ ), 12 D 22.
    - d. untuk level lantai 3 – lantai 4 ( $z = 8.70$  s/d  $z = 13.05$ ), juga 12 D 22.

### Perbandingan kemudahan dalam Pelaksanaan

1. *Concrete jacketing*  
 Pelaksanaan *concrete jacketing* sebenarnya tidak ada masalah untuk dilaksanakan, namun kesulitan akan muncul ketika melakukan penggalian tanah untuk memperbesar kolom sampai ke pondasi telapak. Karena pembesaran kolom yang diperbesar mulai 1.33 hingga 2 kali dari kolom eksisting harus dilakukan sampai ke pondasi telapak yang berada 4 m di bawah *basement*.



**Gambar 17. Sketsa Perkuatan Kolom dengan *Concrete Jacketing* pada Bagian Bawah**



**Gambar 18. Sketsa Perkuatan Kolom dengan *Steel Jacketing* pada Bagian Bawah**

Penggalian tanah sedalam 4 m, dengan menjebol pelat lantai *basement* memang bisa dilakukan tapi tentunya akan memakan waktu, sehingga perlu dipertimbangkan alternatif lain, selain juga pertimbangan masalah *safety* dan pembuatan turap sementara selama dilakukan pekerjaan *concrete jacketing*.

## 2. *Steel jacketing*

Pelaksanaan *steel jacketing* lebih mudah untuk dilaksanakan dibandingkan *concrete jacketing* karena *jacketing* tidak perlu dilakukan sampai ke pondasi. Pemasangannya butuh tingkat keahlian presisi yang tinggi sehingga antara baja dan beton dapat disatukan dengan *epoxy grouting* dengan baik.

## 3. *Fyber carbon*

Pelaksanaan pemasangan *fyber carbon* dapat dilakukan dengan lebih cepat dan dan mudah dibandingkan *concrete jacketing* ataupun *steel jacketing*, paling minimal gangguan pada operasinya bangunan dan tidak memerlukan area kerja yang luas.

## Perbandingan Waktu Pelaksanaan

### 1. *Concrete jacketing*

Dengan melihat tingkat kesulitan pada saat pelaksanaan, pengerjaan *jacketing* beton memerlukan waktu 1,5 (satu setengah) bulan sendiri untuk melakukan penggalian dan *jacketing* kolom di bawah pelat *basement* sampai ke pondasi. Selanjutnya pekerjaan lainnya diperkirakan memerlukan waktu 0,75 bulan per lantainya. Dan pekerjaan *testing* dan *finishing* 0,5 bulan. Jadi perkiraan waktu pelaksanaan adalah 5 (lima) bulan.

### 2. *Steel jacketing*

Pekerjaan *steel jacketing* akan lebih cepat dari *concrete jacketing* karena tidak perlu melakukan perkuatan

sampai ke pondasi telapak. Pekerjaan persiapan dan pengiriman material diperkirakan 0,5 (setengah) bulan. Selanjutnya pekerjaan *jacketing* per lantai memerlukan waktu 0,75 bulan per lantainya. Dan pekerjaan *testing* dan *finishing* 0,5 bulan. Jadi perkiraan waktu pelaksanaan adalah 4 (empat) bulan.

### 3. *Fyber carbon*

Pekerjaan perkuatan dengan fiber carbon paling cepat diantara alternatif lainnya karena selain tidak perlu melakukan perkuatan sampai ke pondasi telapak, tidak memerlukan bekisting dan sedikit injeksi dan *grouting* (hanya paa bagian-bagian yang terindikasi mutu betonnya kurang bagus saja). Pekerjaan persiapan dan pengiriman material diperkirakan 0,5 (setengah) bulan. Selanjutnya pekerjaan *jacketing* per lantai memerlukan waktu 0,5 bulan per lantainya. Dan pekerjaan *testing* dan *finishing* 0,5 bulan. Jadi perkiraan waktu pelaksanaan adalah 3 (tiga) bulan.

### Perbandingan Biaya

Perkiraan biaya pelaksanaan perbaikan dan perkuatan dengan ketiga alternatif metode adalah sebagai berikut:

1. *Concrete jacketing*: Rp. 3,543,100,000.000
2. *Steel jacketing*: Rp. 3,529,900,000
3. *Fyber carbon*: Rp. 3,558,500,000

### Perbandingan Estetika

Perbandingan secara estetika disini dengan membandingkan efek perubahan pada tampak secara arsitektur dengan adanya perubahan bentuk akibat adanya tambahan perkuatan.

Dari ketiga alternatif perkuatan FRP paling minimal dalam merubah bentuk asli dimensi

elemen struktur sehingga minimal dalam merubah luasan ruang yang dapat dimanfaatkan.

### Kesimpulan

Dari ketiga alternatif perkuatan dalam studi ini yaitu perkuatan pada kolom dengan Concrete Jacketing, Steel Jacketing dan FRP (Fyber Reinforced Polymer), dengan batasan alokasi biaya yang sama dimana dilakukan perbandingan antara ketiganya pada aspek kekuatan, kemudahan dalam pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan estetikanya, dapat disimpulkan bahwa:

1. *Steel jacketing* memiliki keunggulan pada aspek peningkatan kekuatan dan penambahan kekakuan dibandingkan dua alternatif lainnya.
2. FRP memiliki keunggulan dibandingkan kedua alternatif lainnya dalam hal kemudahan pelaksanaan, waktu pelaksanaan dan estetika. Walaupun dari sisi harga relatif paling mahal namun dalam studi ini sudah dibatasi kisaran alokasi biayanya.
3. *Concrete jacketing* memiliki kinerja yang paling baik dalam penambahan kekakuan struktur namun dalam kasus studi ini, *concrete jacketing* memiliki kelemahan pada tingkat kemudahan pada pelaksanaan sehingga berdampak pada waktu pelaksanaan yang lebih lama. Begitupun dari aspek biaya sebenarnya relatif paling murah, namun dalam studi ini sudah dibatasi kisaran alokasi biayanya.
4. Dengan pertimbangan pada aspek kekuatan, kemudahan dalam pelaksanaan, kecepatan waktu pelaksanaan dan estetika pada kisaran alokasi biaya yang sama, maka FRP merupakan alternatif terpilih, seperti ditunjukkan pada Matriks *scoring* pemilihan alternatif di bawah ini

**Tabel 4. Matriks Scoring Pemilihan Alternatif**

Type Perkuatan	Kekuatan	Kemudahan Pelaksanaan	Waktu Pelaksanaan	Estetika	Total
Score					
Concrete Jacketing	2	1	1	1	6
Steel Jacketing	3	2	2	2	9
Fyber Carbon	1	3	3	3	10

Sugano, S., 1996. *The State of Art in Techniques for Rehabilitation of Buildings*, Elsevier Science Ltd.

Triwiyono A, Wikana I, 2000. *Kuat Geser Kolom Beton Bertulang Penampang Lingkaran yang Diperbaiki dengan Metode Concrete Jacketing*. Tesis Program Studi Teknik Sipil Program Pasca sarjana Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

### Daftar Pustaka

- Elsamny, M.K., Ibrahim, M.A., Elesnawi, H.H. and Oudah, H.K.. *Behaviour Of Steel Jackets Used In Strengthening Columns Subjected To Eccentric Loading*. *Journal Of Al Azhar University Engineering Sector ( JAUES ) Faculty Of Engineering, Al-Azhar University, Cairo, Egypt*, Vol. 6, No. 19, PP. 493-514, 2011.
- Ezz-Eldeen, H. A.. *Steel Jacketing Technique used in Strengthening Reinforced Concrete Rectangular Columns under Eccentricity for Practical Design Applications*. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT) - Volume 35 Number 5- May 2016*.
- Hesa Laras Cemerlang, PT., 2018. *Laporan Akhir Hasil Assessment Bank Sulteng Pasca Terjadinya Gempa Bumi*.
- Jenefer Teofany Kaontole M. D. J. Sumajouw, R. S. Windah,. *Evaluasi Kapasitas Kolom Beton Bertulang Yangdiperkuat Dengan Metode Concrete Jacketing*. Universitas Sam Ratulangi Fakultas Teknik Jurusan Sipil Manado, 2015.
- Montuori, R. and Piluso, V. *Reinforced concrete columns strengthened with angles and battens subjected to eccentric load*. Elsevier Ltd., *Engineering Structures* 31- PP.539-550, 2009.

