

Evaluasi dan Perkuatan Struktur Kolom Beton Bertulang Akibat Kebakaran

Nurul Hidayati^{1*}

^{1*}Jurusan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Mataram, Mataram
E-mail penulis, korespondensi: nurulhida.1504@gmail.com

ABSTRAK

Material beton bertulang yang terkena suhu tinggi dapat mengalami penurunan kekuatan, sehingga bangunan gedung yang sudah terpapar suhu tinggi perlu untuk dievaluasi kembali. Tingkat penurunan kekuatan material beton bertulang dapat dipastikan dengan melakukan evaluasi mutu material dengan metode pengujian sampel secara *non-destructive* maupun *destructive*. Hasil evaluasi mutu material tersebut kemudian dijadikan sebagai data awal untuk melakukan analisis kekuatan elemen struktur dengan cara analisis numeris menggunakan *software* SAP2000 v.20.2. Berdasarkan hasil analisis secara numeris, diperoleh bahwa terdapat 79% kolom di lantai 1 dan 19% kolom di lantai 2 yang perlu diberi perkuatan. Kolom-kolom tersebut mengalami *overstress*, dimana nilai *PMM ratio* kolom tersebut diatas 0,95. Maka, berdasarkan hasil tersebut, kolom-kolom tersebut sudah tidak mampu menahan gaya-gaya yang akan bekerja pada bangunan gedung. Metode perkuatan yang diberikan pada elemen struktur kolom pada penelitian ini adalah metode *concrete jacketing*. Kolom diberi penambahan dimensi sebesar 100x100 mm² dan berdasarkan hasil analisis secara analitis diperoleh bahwa kolom yang telah diberi perkuatan *concrete jacketing* mampu menahan gaya-gaya yang bekerja pada gedung.

Kata Kunci: Evaluasi, Kolom, Perkuatan, *concrete jacketing*.

ABSTRACT

Reinforced concrete materials exposed to high temperatures can experience a decrease in strength, so buildings that have been exposed to high temperatures need to be re-evaluated. The rate of decline in the strength of reinforced concrete materials can be ascertained by evaluating the quality of the material using non-destructive and destructive sample testing methods. The results of the evaluation of the quality of the material are then used as initial data to analyze the strength of structural elements by means of numerical analysis using SAP2000 v.20.2 software. Based on the results of the numerical analysis, it was found that there were 79% of the columns on the 1st floor and 19% of the columns on the 2nd floor that needed reinforcement. These columns are overstressed, where the PMM ratio value of the column is above 0.95. So, based on these results, the columns are no longer able to withstand the forces that will act on the building. The reinforcement method given to the column structure elements in this study is the concrete jacketing method. The column is given additional dimensions of 100x100 mm² and based on the results of analytical analysis, it is found that the reinforced concrete jacketing column can withstand the forces acting on the building.

Keywords: Evaluation, Column, Retrofitting, *Concrete jacketing*.

1. PENDAHULUAN

Penelitian ini akan membahas studi kasus pada gedung yang mengalami kerusakan akibat kebakaran. Seluruh elemen gedung, yaitu kolom, balok, dan pelat lantai terbuat dari material beton bertulang. Gedung yang akan dijadikan studi kasus ini mengalami kebakaran selama 4 jam. Kondisi bagian dalam gedung setelah mengalami kebakaran yaitu terdapat perubahan warna beton pada elemen struktur gedung. Secara visual, warna beton dapat berubah akibat suhu tinggi. Oleh karena itu, warna dapat digunakan sebagai indikasi temperatur maksimum yang telah terjadi dan durasi terjadinya kebakaran secara ekuivalen. Perubahan warna mulai terjadi pada saat suhu mencapai 300°C. Sedangkan penurunan kekuatan beton terjadi ketika beton terkena suhu diatas 200°C [1]. Penelitian lain yang dilakukan di laboratorium diperoleh bahwa warna beton yang terbakar mengalami perubahan warna pada suhu 300°C, terjadi retak rambut pada suhu 400°C, dan terdapat beberapa sampel material beton yang mengalami *spalling* pada saat beton terkena suhu diatas 400-650°C [2]. Berdasarkan hasil observasi lapangan yang dilakukan di gedung eksisting, terlihat bahwa permukaan elemen struktur gedung secara dominan mengalami perubahan warna menjadi warna merah muda hingga putih pucat. Kerusakan yang terjadi pada elemen struktur kolom dapat terjadi ketika kolom tersebut terpapar oleh suhu tinggi [3]. Struktur gedung yang telah mengalami kebakaran dan akan digunakan kembali, perlu untuk dilakukan evaluasi kembali pada gedung tersebut, terutama pada elemen struktur yang berfungsi untuk menahan beban-beban yang bekerja. Penelitian ini akan berfokus pada kekuatan elemen kolom.

Evaluasi elemen struktur kolom dilakukan berdasarkan kerusakan yang terjadi akibat kebakaran atau suhu tinggi. Terdapat beberapa teknik evaluasi yang dapat dilakukan untuk dapat mendeteksi kerusakan internal pada elemen struktur kolom akibat terkena suhu tinggi, yaitu *Schmidt Rebound Hammer*, *Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*, dan *covermeter* yang merupakan metode untuk memperoleh data mutu material elemen struktur secara *non-destructive*. Selain itu, metode lain yang dapat juga digunakan untuk memperoleh data kekuatan elemen struktur secara *destructive* adalah metode *core drill* untuk mengetahui kekuatan beton eksisting, dan metode uji *Brinell* untuk mengetahui kekuatan eksisting baja tulangan.

Langkah selanjutnya yang dilakukan setelah memperoleh data kekuatan elemen struktur adalah dilakukan metode perbaikan untuk dapat mengembalikan kondisi bangunan menjadi layak digunakan kembali. Terdapat beberapa pilihan perkuatan yang dapat dilakukan pada elemen struktur kolom agar kekuatannya dapat meningkat. Salah satu metode perkuatan yang dapat digunakan untuk meningkatkan kekuatan pada elemen struktur kolom adalah dengan menambah dimensi dan volume pada kolom, yaitu metode *concrete jacketing*.

Elemen struktur kolom yang diberi perkuatan dengan metode *jacketing* mengalami peningkatan kekuatan. Kolom beton bertulang yang diberi perkuatan *jacketing* dengan material baja dapat meningkatkan kapasitas kolom paling sedikit 20% dari kekuatan awal [4]. Metode *jacketing* lainnya dapat dilakukan dengan material beton, dimana elemen kolom diperkuat dengan menambah volume kolom eksisting dengan material beton bertulang. Metode perkuatan ini juga dapat melakukan peningkatan kapasitas kolom dalam menahan gaya-gaya yang bekerja. Kolom yang diperkuat dengan metode *concrete jacketing* mengalami peningkatan [5].

2. METODE

Metode evaluasi elemen struktur kolom yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu observasi lapangan dan pengumpulan data, evaluasi elemen struktur kolom secara numeris, kemudian melakukan evaluasi perkuatan yang diberikan pada kolom apabila diperlukan. Pengumpulan data kekuatan elemen struktur dilakukan dengan melakukan pengujian di lapangan. Pengujian yang dilakukan untuk pengambilan data elemen struktur adalah metode *UPV*, *covermeter*, *core drill*, dan uji *Brinell*.

Metode pengujian dengan alat *UPV* dilakukan untuk memperoleh kuat tekan beton dengan mempertimbangkan banyaknya rongga pada beton. Metode pengujian dengan *covermeter* dilakukan untuk memperoleh data jumlah serta jarak antar tulangan dengan mendeteksi keberadaan baja tulangan menggunakan serangkaian alat *covermeter*. Uji *core drill* dilakukan untuk memperoleh data kuat tekan beton eksisting yang dilakukan dengan cara mengambil sampel inti beton kolom pada beberapa titik. Pengambilan inti beton tersebut dilakukan menggunakan *concrete drilling machine*. Sampel inti beton yang telah diambil tersebut kemudian dibawa ke laboratorium untuk dilakukan uji tekan dengan mesin uji kuat tekan beton. Pengujian *Brinell* dilakukan untuk memperoleh kuat tarik leleh baja tulangan menggunakan alat *Brinell* yang dilakukan di lapangan.

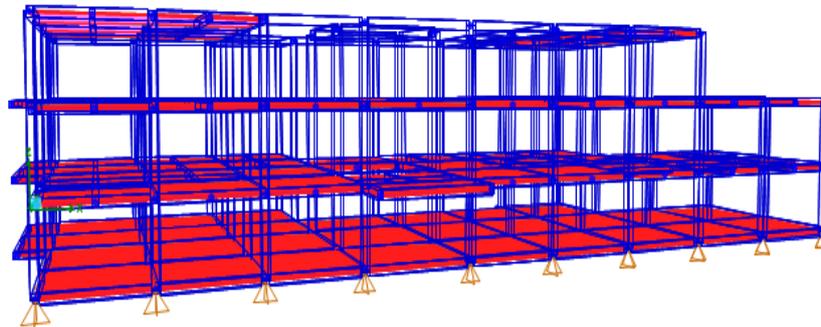
Data mutu material yang diperoleh di lapangan terdiri dari data hasil pengambilan sampel di beberapa titik. Sehingga diperlukan suatu metode perhitungan untuk memperoleh satu data yang dapat digunakan sebagai data masukan ke dalam hitungan numeris dengan bantuan *software* SAP2000.

Metode perhitungan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara mengolah data perolehan dari lapangan dan laboratorium menggunakan statistika. Data-data mutu material yang bersifat *outlier* tidak akan digunakan kemudian. Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai rerata dari data-data mutu material yang telah diolah secara statistika tersebut. Pada penelitian ini, gedung mengalami kebakaran, dimana suhu yang terjadi pada setiap lantainya berbeda, sehingga data mutu material pada kolom yang akan digunakan adalah data mutu material terendah dari setiap lantai. Data inilah yang kemudian digunakan sebagai data masukan pada hitungan numeris.

Data mutu material yang sudah diperoleh tersebut kemudian digunakan sebagai data analisis menggunakan *software* SAP2000 dan berdasar pada standar terbaru yang berlaku. Sistem struktur atas yang digunakan merupakan Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Gempa rencana yang ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlampaui besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar 2% [6].

Langkah selanjutnya adalah mengevaluasi kemampuan elemen struktur kolom dalam menahan beban-beban yang akan bekerja pada gedung. Ketika kolom tersebut tidak mampu menahan beban yang bekerja, maka kolom tersebut harus diberi perkuatan, yang mana pada penelitian ini, perkuatan kolom yang akan digunakan adalah perkuatan metode *concrete jacketing*. Kontrol peningkatan kekuatan kolom setelah diperkuat dilakukan dengan melakukan analisis hitungan secara analitis (hitungan manual) terhadap kuat lentur dan aksial. Aplikasi *concrete jacketing* pada kolom mengakibatkan adanya perbesaran dimensi yang berpengaruh pada perbesaran momen terfaktor. Adanya perbesaran momen terfaktor ini akan mempengaruhi kelangsingan kolom, dimana kelangsingan kolom akan berkurang.

Struktur gedung dalam kasus ini dimodelisasi sebagai portal ruang 3-D. Analisis yang dilakukan adalah analisis elastis dimana kekakuan EI yang digunakan harus mewakili kekakuan komponen struktur sesaat sebelum kegagalan. Elemen struktur kolom dimodelkan menggunakan material beton bertulang dan sebagai batang *frame*. Hubungan kolom dan balok diasumsikan bersifat kaku dan dapat memikul beban momen. Pemodelan elemen kolom, balok, dan pelat lantai ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Gambar pemodelan struktur gedung pada SAP2000

Metode perkuatan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode perkuatan *concrete jacketing*. Terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi dalam metode perkuatan ini. Spesifikasi minimum yang harus dipenuhi dalam aplikasi metode *concrete jacketing* ini antara lain [7]:

- a. Mutu beton pembungkus yang harus lebih besar atau sama dari mutu beton eksisting.
- b. Untuk kolom yang tulangan longitudinal tambahan tidak dibutuhkan, minimum harus diberikan tulangan 12 mm di keempat ujungnya dengan sengkang 8 mm.
- c. Minimum tebal *jacketing* 100 mm.
- d. Diameter tulangan sengkang minimum 8 mm tidak boleh kurang 1/3 tulangan longitudinal.
- e. Jarak maksimal tulangan sengkang pada daerah 1/4 bentang adalah 100 mm, dan jarak vertikal antar tulangan sengkang tidak boleh melebihi 100 mm.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Nilai mutu material

Mutu material yang digunakan dalam analisis struktur diperoleh dari hasil uji lapangan dan laboratorium. Data hasil uji material di lapangan yang telah diperoleh ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data hasil uji lapangan elemen kolom

No.	Kode	Kuat tekan (MPa)	Evaluasi Hasil Uji (MPa)
1	KLM 1-1	11.9	Maksimum = 22.7 Minimum = 10.3 Rata-rata = 16.6 CoV = 0.22
2	KLM 1-2	14.9	
3	KLM 1-3	21	
4	KLM 1-4	21.5	
5	KLM 1-5	10.3	
6	KLM 1-6	13.3	
7	KLM 1-7	15.9	
8	KLM 2-1	20.3	
9	KLM 2-2	17.2	
10	KLM 2-3	22.7	
11	KLM 2-4	16.2	
12	KLM 2-5	17	
13	KLM 2-6	19.1	
14	KLM 2-7	18.7	
15	KLM 3-1	12	
16	KLM 3-2	15	
17	KLM 3-3	12	
18	KLM 3-4	21.4	
19	KLM 3-5	13.2	
20	KLM 3-6	17.8	

Nilai kuat tekan beton direduksi terlebih dahulu [11]. Nilai yang digunakan dalam analisis dengan *software* SAP2000 menggunakan data kuat tekan rerata dari data yang memiliki nilai CoV dibawah 20%. Maka diperoleh data mutu kuat tekan

beton pada elemen struktur kolom adalah 12,49 MPa. Sedangkan data mutu kuat tekan leleh baja tulangan yang digunakan adalah 396 MPa. Nilai mutu material inilah yang akan diaplikasikan untuk keseluruhan mutu kolom di setiap lantai.

3.2. Pemodelan Struktur

Metode analisis dan pemodelan struktur diatur dalam Bab 6 SNI 2847:2019 [8], dimana pada subbab 6.6.3.1.1 disebutkan bahwa momen inersia dan luas penampang komponen struktur harus dihitung berdasarkan Tabel 1.

Tabel 1. Momen inersia dan luas penampang yang diizinkan untuk untuk analisis elastis pada level beban terfaktor

Bagian dari kondisi		Momen inersia	Luas penampang
Kolom		$0,70 I_g$	
Dinding	Tidak retak	$0,70 I_g$	$1,0 A_g$
	Retak	$0,35 I_g$	
Balok		$0,35 I_g$	
Pelat datar dan <i>slab</i> datar		$0,25 I_g$	

Keterangan,

I_g : inersia penampang beton bruto terhadap sumbu pusat dengan mengabaikan tulangan.

A_g : luas penampang

Kolom praktis dimodelkan sebagai beban terpusat dengan hitungan sebagai berikut.

Berat kolom praktis = $0,13 \times 0,13 \times 3,7 \times 2400 = 150$ kg

Berdasarkan hasil survei investigasi dan pengumpulan data, data gedung tersimpan dalam bentuk *blueprint* dan berada di gedung PLN dan ikut terbakar sehingga data fondasi tidak ditemukan. Sehingga struktur fondasi dalam penelitian ini dimodelkan menjadi dua jenis, yaitu struktur sendi dan struktur jepit. Tegangan ijin yang digunakan untuk pemeriksaan kekuatan kolom menggunakan kombinasi beban ultimit.

3.3. Beban Struktur

3.3.1. Beban mati

Pada beban mati, berat sendiri otomatis dihitung oleh program SAP2000. Berat sendiri beton bertulang adalah 2.400 kg/m^3 , sedangkan berat dinding pasangan bata untuk satu batu adalah 250 kg/m^2 . Beban mati lain diluar berat sendiri mengacu pada SNI 1727:2019 [9].

a. Beban atap

Atap = 3.321 kg

Kuda-kuda baja ringan = $203,4 \text{ kg}$

Berat total = $3.524,4 \text{ kg}$

Beban atap ditumpu pada 20 kolom, dimana kolom ujung menerima beban $55,35 \text{ kg}$, kolom tepi menerima beban $110,7 \text{ kg}$, dan kolom tengah menerima beban $221,4 \text{ kg}$

b. Beban lain

Berat spesi = 42 kg/m^2

Berat pasir = 80 kg/m^2

Berat total = $122 \text{ kg/m}^2 = 1,22 \text{ kN/m}^2$

3.3.2. Beban hidup

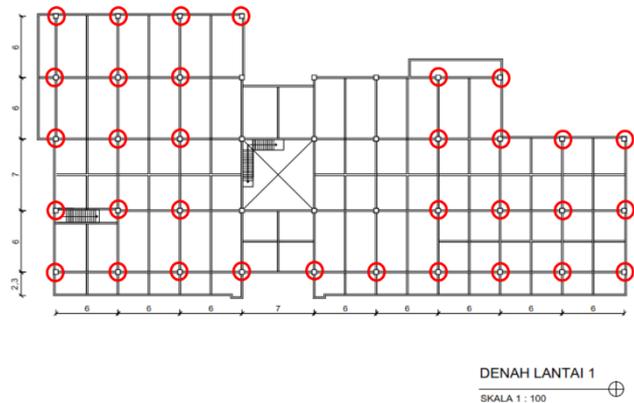
Gedung yang ditinjau pada penelitian ini adalah gedung yang difungsikan sebagai gedung kantor, sehingga beban hidup yang digunakan dalam perhitungan analisis numeris adalah $2,4 \text{ kN/m}^2$. Pada [8] pasal 5.3.3 disampaikan bahwa faktor beban pada beban hidup L diizinkan direduksi hingga 0,5 (50%), maka nilai beban hidup pada penelitian ini direduksi sebesar 20% karena kondisi gedung yang belum tentu selalu dalam keadaan penuh. Maka digunakan nilai beban hidup sebesar $1,92 \text{ kN/m}^2$.

3.3.3. Beban Gempa

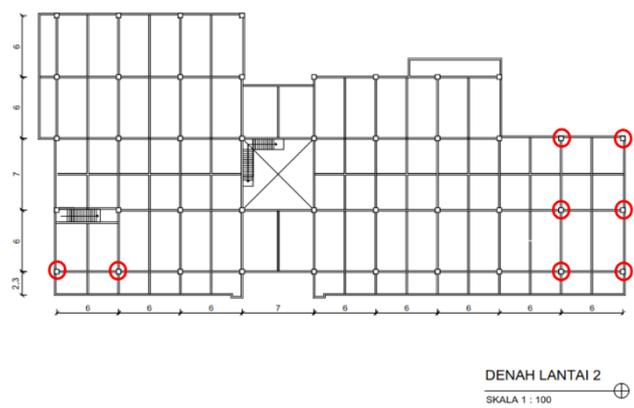
Perhitungan beban gempa menggunakan respon spektrum dan perhitungannya berdasarkan percepatan S_S dan S_1 pada SNI Gempa 1726:2019 [6]. Beban gempa dalam pemodelan struktur ini disertakan dengan memperhitungkan faktor redundansi (ρ), kombinasi dengan nilai 100% pada satu arah dan 30% pada arah lain yang tegak lurus, serta beban gempa vertikal.

3.4. Hasil Analisis

SAP2000 menyediakan banyak informasi mengenai hasil analisis struktur yang telah dimodelkan. Salah satu hasil luaran dari *software* SAP2000 adalah pengguna dapat mengetahui elemen struktur yang tidak dapat menahan beban-beban yang bekerja. Berdasarkan data yang telah dimasukkan dalam pemodelan pada penelitian ini, terdapat beberapa elemen struktur kolom yang *overstress* dan memiliki *column P-M-M interaction ratios* melebihi batas (0,95). Data letak elemen struktur kolom yang mengalami *overstress* ditampilkan pada Gambar 2 sampai Gambar 3.



Gambar 2. Denah elemen *overstress* di lantai 1



Gambar 3. Denah elemen *overstress* di lantai 2

Berdasarkan hasil tersebut, persentase jumlah elemen yang harus diberi perkuatan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Persentase elemen yang perlu diperkuat

Lantai	Persentase
1	79%
2	19%
3	0%

Sumber data diolah dari hasil analisis numeris

3.4. Analisis Perkuatan *Concrete Jacketing*

Elemen struktur yang mengalami *overstress* akibat beban-beban yang bekerja pada struktur gedung perlu untuk diberi perkuatan. Metode perkuatan yang digunakan pada elemen struktur kolom pada studi kasus gedung ini adalah metode perkuatan *concrete jacketing*. Metode ini dilakukan dengan cara menambah volume kolom pada elemen struktur kolom eksisting dengan memperhatikan standar yang ada.

3.4.1. Analisis kolom eksisting

Analisis kolom eksisting dilakukan dengan cara meninjau analisis kolom secara biaksial.

Nilai hasil SAP2000:

$P_u = 1.103,112 \text{ kN}$
 $Mu_x = 171,899 \text{ kNm}$
 $Mu_y = 211,457 \text{ kNm}$

Data kolom:

$b = 450 \text{ mm}$
 $h = 450 \text{ mm}$
 $n_{tul} = 12 \text{ buah}$
 $D_{tul} = 19 \text{ mm}$
 $f'_c = 12,46 \text{ MPa}$
 $f_y = 396 \text{ MPa}$

Nilai β yang digunakan untuk mutu beton 12,46 MPa adalah 0,5 yang merupakan hasil interpolasi dari Grafik Vis dan Gideon dengan $d'/d = 0,15$ [10].

Luas tulangan total ($A_{s_{tot}}$) = $12 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 = 3.402,35 \text{ mm}^2$
 $\rho = A_{s_{tot}} / bh = 0,017 \rightarrow r = \rho/\beta = 0,021$
 $\phi = 0,65$ (coba-ralat)
 $N_u / (\phi \times b \times h \times 0,85 \times f'_c) = 0,725 > 0,2$
 Maka nilai ϕ tetap 0,65

Dari grafik diagram interaksi [10] yang sesuai untuk $N_u / (\phi \times b \times h \times 0,85 \times f'_c) = 0,725$ dan $r = 0,021$ diperoleh (e/h).
 $N_u / (\phi \times b \times h \times 0,85 \times f'_c) = 0,19$, sehingga
 $e/h = 0,19 / \{N_u / (\phi \times b \times h \times 0,85 \times f'_c)\}$
 $e/h = 0,19 / 0,68 = 0,28$

Pada arah sumbu-y
 $e_y = 0,28 \times h = 125,38 \text{ mm}$
 $Mo_x = N_u \times e_y = 119,48 \text{ kNm}$

Pada arah sumbu-x
 $e_x = 0,28 \times b = 125,38 \text{ mm}$
 $Mo_y = N_u \times e_x = 119,48 \text{ kNm}$

Menurut dokumen ACI untuk kolom tampang bujur sangkar
 $Mu_x + Mu_y \leq Mo_x$ atau Mo_y
 $171,899 + 211,457 = 383,356 \text{ kNm} > 119,48 \text{ kNm} \rightarrow$ **tidak aman**

Hasil perhitungan untuk kolom lainnya ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil analisis kolom eksisting lantai 1 dan lantai 2

Frame	$Mu_x + Mu_y$ (kNm)	Mo (kNm)	Keterangan	Frame	$Mu_x + Mu_y$ (kNm)	Mo (kNm)	Keterangan
K1.1	383,356	119,477	Tidak Aman	K2.1	236,131	176,681	Tidak Aman
K1.2	225,141	119,477	Tidak Aman	K2.2	190,301	176,681	Tidak Aman
K1.3	215,734	119,477	Tidak Aman	K2.3	164,955	176,681	Aman
K1.4	210,336	119,477	Tidak Aman	K2.5	159,096	176,681	Aman
K1.5	243,093	119,477	Tidak Aman	K2.6	130,676	176,681	Aman
K1.6	242,710	119,477	Tidak Aman	K2.7	154,698	176,681	Aman
K1.7	200,373	119,477	Tidak Aman	K2.8	150,944	176,681	Aman
K1.8	217,389	119,477	Tidak Aman	K2.9	211,185	176,681	Tidak Aman
K1.9	217,924	119,477	Tidak Aman	K2.10	177,876	176,681	Tidak Aman
K1.10	240,236	119,477	Tidak Aman	K2.11	135,789	176,681	Aman
K1.11	229,352	119,477	Tidak Aman	K2.12	135,839	176,681	Aman
K1.12	201,692	119,477	Tidak Aman	K2.13	138,275	176,681	Aman
K1.13	194,182	119,477	Tidak Aman	K2.14	167,661	176,681	Aman
K1.14	108,964	119,477	Aman	K2.15	174,959	176,681	Aman

K1.15	190,174	119,477	Tidak Aman	K2.16	153,073	176.681	Aman
K1.16	196,115	119,477	Tidak Aman	K2.17	174,963	176.681	Aman
K1.17	204,858	119,477	Tidak Aman	K2.18	203,925	176.681	Tidak Aman
K1.18	228,359	119,477	Tidak Aman	K2.19	176,854	176.681	Tidak Aman
K1.19	210,225	119,477	Tidak Aman	K2.20	176,184	176.681	Aman
K1.20	198,039	119,477	Tidak Aman	K2.21	156,183	176.681	Aman
K1.21	187,402	119,477	Tidak Aman	K2.22	168,198	176.681	Aman
K1.22	114,666	119,477	Aman	K2.23	169,729	176.681	Aman
K1.23	185,598	119,477	Tidak Aman	K2.24	174,119	176.681	Aman
K1.24	208,902	119,477	Tidak Aman	K2.25	217,655	176.681	Tidak Aman
K1.25	208,812	119,477	Tidak Aman	K2.26	193,001	176.681	Tidak Aman
K1.26	227,051	119,477	Tidak Aman	K2.27	138,797	176.681	Aman
K1.27	197,251	119,477	Tidak Aman	K2.28	140,337	176.681	Aman
K1.28	194,018	119,477	Tidak Aman	K2.29	145,522	176.681	Aman
K1.29	185,410	119,477	Tidak Aman	K2.30	124,692	176.681	Aman
K1.30	80,343	119,477	Aman	K2.31	132,932	176.681	Aman
K1.31	109,092	119,477	Aman	K2.32	148,207	176.681	Aman
K1.32	119,175	119,477	Aman	K2.33	160,662	176.681	Aman
K1.33	124,797	119,477	Tidak Aman	K2.34	160,346	176.681	Aman
K1.34	191,358	119,477	Tidak Aman	K2.35	132,389	176.681	Aman
K1.35	173,266	119,477	Tidak Aman	K2.36	160,354	176.681	Aman
K1.36	177,979	119,477	Tidak Aman	K2.37	141,595	176.681	Aman
K1.37	168,738	119,477	Tidak Aman	K2.38	95,421	176.681	Aman
K1.38	168,990	119,477	Tidak Aman	K2.39	112,741	176.681	Aman
K1.39	111,869	119,477	Aman	K2.40	123,915	176.681	Aman
K1.40	85,593	119,477	Aman	K2.41	122,092	176.681	Aman
K1.41	96,843	119,477	Aman	K2.42	145,437	176.681	Aman
K1.42	104,569	119,477	Aman	K.2.43	155,978	176.681	Aman

Berdasarkan perolehan hasil berdasarkan hitungan pada dokumen *ACI* diperoleh bahwa terdapat beberapa kolom pada lantai 1 dan lantai 2 yang tidak aman dalam menahan beban yang bekerja, sehingga perlu diberi perkuatan.

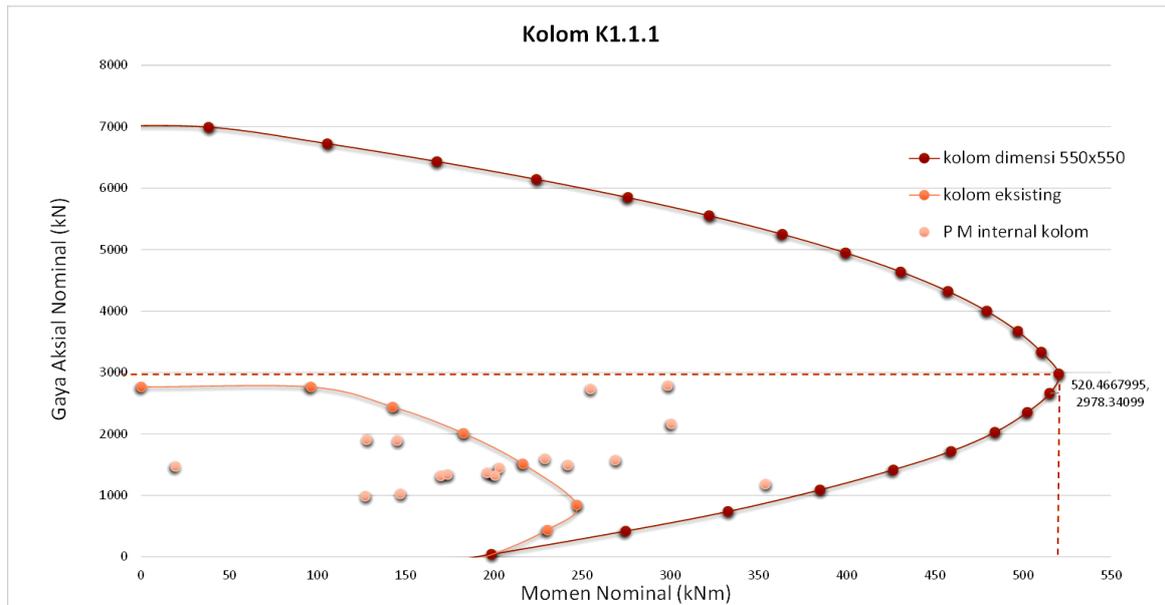
3.4.2. Analisis kolom yang diperkuat dengan *concrete jacketing*

Berdasarkan hasil analisis kolom secara numeris menggunakan *software* SAP2000 dan analitis, diperoleh bahwa kolom K1.1 memiliki nilai $Mu_x + Mu_y$ yang paling besar, dimana hal tersebut menandakan bahwa kolom K1.1 adalah kolom yang menerima gaya terbesar. Maka dari itu, perhitungan perkuatan yang akan dilakukan adalah dengan meninjau besarnya perkuatan *concrete jacketing* yang dibutuhkan oleh kolom K1.1. Perkuatan dilakukan dengan menambah volume elemen kolom eksisting dengan memperhatikan ketentuan [7] yang berlaku.

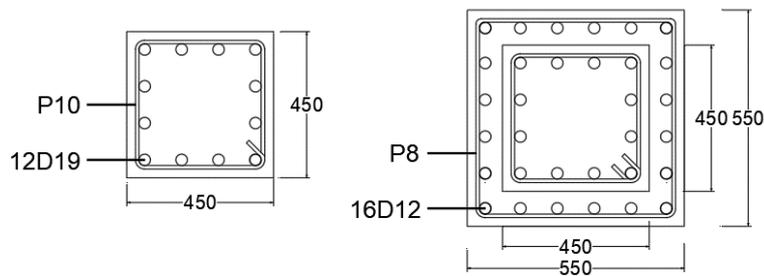
Kolom eksisting pada gedung ini memiliki dimensi $450 \times 450 \text{ mm}^2$ dan berdasarkan ketentuan yang berlaku, penambahan dimensi untuk perkuatan *concrete jacketing* adalah minimal diberi penambahan 100 mm. Maka, dimensi kolom baru setelah diperkuat akan menjadi $550 \times 550 \text{ mm}^2$. Material beton baru yang digunakan sebagai bahan perkuatan *concrete jacketing* mengikuti standar mutu beton pada standar terbaru [8].

Berdasarkan hasil hitungan secara analitis, diperoleh bahwa kekuatan nominal kolom pada kondisi seimbang setelah diberi perkuatan *concrete jacketing* adalah $P_{nb} = 520,47 \text{ kN}$ dan $M_{nb} = 2.978,34 \text{ kNm}$.

Kekuatan nominal kolom dalam menahan gaya-gaya yang bekerja ditampilkan dalam sebuah diagram interaksi kolom yang disajikan pada Gambar 4. Berdasarkan hasil perhitungan kekuatan kolom setelah diperkuat dengan *concrete jacketing*, diperoleh bahwa kolom telah mampu menahan beban-beban yang bekerja pada struktur bangunan gedung sehingga gedung dapat aman untuk digunakan kembali. Adapun desain rencana untuk perkuatan kolom dengan metode *concrete jacketing* disajikan pada Gambar 5.



Gambar 4. Diagram interaksi kolom K1.1.1 setelah diberi perkuatan *concrete jacketing*



Gambar 5. Desain rencana perkuatan *concrete jacketing* pada kolom eksisting

Elemen kolom K1.1 merupakan kolom yang menerima beban terbesar dan setelah diberi perkuatan *concrete jacketing* dengan standar minimum ketebalan, diperoleh bahwa kolom K1.1 telah dapat menahan gaya-gaya yang bekerja sesuai dengan standar gedung terbaru. Maka dari itu, kolom lain pada gedung ini akan diberi perkuatan *concrete jacketing* dengan dimensi yang sama, yaitu 550x550 mm².

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik berdasarkan hasil penelitian ini adalah elemen struktur yang tersusun dari material beton bertulang dapat mengalami degradasi kekuatan sehingga elemen struktur gedung menjadi perlu untuk dilakukan evaluasi kekuatan struktur jika gedung ingin digunakan kembali. Salah satu elemen struktur yang berfungsi penting dalam mendukung gaya pada gedung adalah elemen struktur kolom. Setelah dievaluasi secara numeris, diperoleh bahwa terdapat 79% kolom di lantai 2 dan 19% kolom di lantai 2 yang memerlukan perkuatan. Jenis perkuatan yang digunakan adalah metode perkuatan *concrete jacketing*, yaitu dengan melakukan perbesaran volume elemen kolom. Dimensi kolom eksisting kolom adalah 450x450 mm². Setelah diberi perkuatan, dimensi kolom menjadi 550x550 mm². Kolom yang diberi perkuatan kemudian dianalisis kembali dengan metode analitis, dan diperoleh bahwa, kolom yang telah diberi perkuatan dengan *concrete jacketing* dapat menahan gaya-gaya yang bekerja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada pihak pengelola Gedung PLN Tanjung Priok, Jakarta Utara yang sudah bersedia memberikan waktu serta tempat untuk Penulis dapat mengambil data lapangan. Selain itu, terima kasih kepada Bapak Madsuri sebagai pihak Laboratorium Struktur dan Material Universitas Indonesia yang telah mengizinkan penulis untuk dapat menggunakan data hasil pengujian dari laboratorium.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hidayati, N. 2021. Evaluasi Dan *Retrofit* Struktur Gedung Beton Bertulang Akibat Kebakaran. INERSIA, Vol. 17, No. 1, Mei 2021. Available:
https://www.researchgate.net/publication/352379284_Evaluasi_dan_Retrofit_Struktur_Gedung_Beton_Bertulang_Akibat_Kebakaran
- [2] Rafi, M. M., Aziz, T., Lodi, S. H. (2017). *Mechanical properties of low-strength concrete at exposure to elevated temperatures*. *Journal of Structural Fire Engineering*, Vol. 8 No. 4, 2017, pp. 418-439. DOI: 10.1108/JSFE-11-2016-0017
- [3] Daungwilailuk, T., Cao, T. N., Pansuk, W., Pheinsusom, P. (2017). *Evaluating Damaged Concrete Depth in Reinforced Concrete Structures under Different Fire Exposure Times by Means of NDT and DT Techniques*. *Engineering Journal*. DOI: DOI:10.4186/ej.2017.21.7.233.
- [4] Belal, M. F., Mohamed, H.M., Morad, S. A., *Behavior of Reinforced Concrete Columns Strengthened by Steel Jacket*. *HBRC Journal* (2015) 11, 201–212. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrj.2014.05.002>
- [5] Kaontole, J. T., Sumajouw, M. D. J., Windah, R. S. (2015). Evaluasi Kapasitas Kolom Beton Bertulang yang diperkuat dengan Metode *Concrete Jacketing*. *Jurnal Sipil Statik* Vol.3 No.3 Maret 2015 (167-174) ISSN: 2337-6732. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/8151>
- [6] Badan Standarisasi Nasional (2019): *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung (SNI 1726:2019)*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [7] Saruni, C. V., Dapas, S. O., Manalip, H. (2017). Evaluasi Dan Analisis Perkuatan Bangunan Yang Bertambah Jumlah Tingkatnya. *Jurnal Sipil Statik* Vol.5 No.9 November 2017 (591-602) ISSN: 2337-6732. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/17648>
- [8] Badan Standarisasi Nasional (2019): *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan (SNI 2847:2019)*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [9] Badan Standarisasi Nasional (2019): *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain (SNI 1727:2019)*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [10] Vis, W. C. & Kusuma, G. (1994). *Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- [11] Triwiyono, A., (2005). *Evaluasi Kualitas Beton dan Kekuatan Struktur Gedung yang Telah Berdiri Pasca Kebakaran*, Prosiding pada Seminar dan Pameran HAKI, Jakarta.