



ANALISIS KEKUATAN KOLOM BETON BERTULANG YANG DIPERKUAT DENGAN METODE *CONCRETE JACKETING* (STUDI KASUS GEDUNG MESS KOREM 012/TU UJONG KARANG)

Aulia Rahman^a, Samsunan Samsunan^a, Meidia Refiyanni^a, Ruhdi Faisal^b, Nina Shaskia^b, Singgih Prabowo Soksen^{c,*}

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Meulaboh

^bJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

^cMahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, Meulaboh

*Corresponding author, email address: singgihsoksen475@gmail.com

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<i>Article History:</i> Received 10 January 2023 Accepted 16 March 2023 Online 30 March 2023 <i>Keywords:</i> Building Mess Korem Damage Reinforcement Columns Concrete Jacketing Method	The December 2004 earthquake and tsunami in Aceh still have an impact on buildings. The Korem 012/TU Mess Building Ujong Karang Meulaboh, Aceh Province is one of the buildings affected. Structural strengthening is required by comparing the strength of the existing building with the strength of the planned building. The structural strengthening method used in this research is the concrete jacketing construction method. This study aims to evaluate and compare how much the column capacity, internal force and floor deviation before and after the column is reinforced with the concrete jacketing method. There were several loads assigned to the structure, i.e., dead, live, wind, and earthquake loads. As for the analysis, the load combinations were considered. The research method used is the graphical and tabular analysis method analyzed using SAP2000 Version 22 software by making 2 existing models and plans, the reinforcement system is carried out on the 1st floor columns totaling 14 columns. This research resulted in the maximum moment, maximum shear force, and maximum axial force before and after the columns were reinforced with a percentage increase of 31%, 23%, 35% respectively. The maximum deviation between floors in the "Y" direction that occurred in the columns before reinforcement was 9.686 mm. From the analysis, it can be seen that the column capacity after strengthening with jacketing method is 3257.30 kN compared to 1299.54 kN before strengthening, so there is a difference of 1957.76 kN increase in column capacity. ©2023 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi dan gelombang tsunami yang terjadi di Aceh pada tanggal 26 Desember 2004 lalu telah mengakibatkan kerusakan sarana dan prasarana fisik bangunan. Dampak yang timbul masih dirasakan sampai saat ini. Banyak bangunan yang sudah kena tsunami dan kondisi beton sudah mulai rusak. Menurut (Riskawati dkk, 2015), kolom bangunan pada bagian yang terkena tsunami mengalami penurunan kekuatan beton di bandingkan dengan bagian yang tidak terkena tsunami. Kondisi beton pada kolom yang terkena tsunami sudah keropos dan kekuatan beton struktural mengalami penurunan (Ikhsan dan Samsunan, 2006).

Gedung Mess Korem 012/TU Ujong Karang yang terletak di Jalan Yos Sudarso Kecamatan Johan Pahlawan Kabupaten Aceh Barat. Gedung ini memiliki luas bangunan 12 x 54 m dan terdiri dari tiga lantai bangunan dengan konstruksi beton bertulang. Bangunan berada di dekat pantai yang berbatasan langsung dengan samudera hindia. Pada saat tsunami terjadi akhir tahun 2004, bangunan tersebut terkena

tsunami yang menyebabkan seluruh elemen non struktural bangunan tersebut hancur. Namun, struktur bangunan masih berdiri dan sebagian kolom dan balok mengalami kerusakan. Menurut Boen (2009), tidak semua bangunan yang telah mengalami kerusakan tidak dapat digunakan lagi (*demolished*). Tetapi masih dapat digunakan lagi setelah dilakukan dengan penilaian (*assessment*). Setelah didapatkan hasilnya, dapat dilakukan, yaitu penggantian elemen struktur (*replacement*) dan perkuatan struktur (*retrofitting*). Tujuan dari upaya dilakukannya *retrofitting* yaitu untuk meningkatkan kekakuan/kekuatan, meningkatkan daktilitas, memperbaiki energi disipasi struktur, serta meningkatkan fungsi layan bangunan.

Berdasarkan permasalahan di atas, penulis melakukan penelitian dengan menganalisis bangunan eksisting dan rencana dengan penambahan beban gempa. Salah satu upaya untuk meminimalisir dampak bencana alam seperti gempa dapat mengacu pada standar perencanaan infrastruktur gedung yang tepat berdasarkan SNI Gempa 1726:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019b) dengan sistem penahan gempa yaitu sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK). Penguatan struktur diperlukan dengan membandingkan kekuatan eksisting dengan kekuatan rencana, Metode penguatan pada struktur yang digunakan pada penelitian ini adalah metode jaket beton (*concrete jacketing construction*) adalah salah satu metode penguatan pada struktur beton bertulang untuk meningkatkan daya dukung beban setelah modifikasi desain struktural atau untuk mengembalikan integritas desain struktur karena kegagalan pada struktur (Khoeri, 2021). Pada gedung ini dilakukan perkuatan pada kolom lantai 1 saja, karena lantai 1 mengalami kerusakan paling parah. Kolom utama eksisting lantai 1 ukuran (40x40 cm) dan kolom *jacketing* (56x56 cm) setinggi 4 m berjumlah 14 titik kolom utama yang akan di *jacketing*. Adapun metode analisis beban yang digunakan pada perencanaan ini adalah dengan menggunakan *software* SAP2000 Versi 22. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung kekuatan kapasitas komponen struktur bangunan eksisting dan rencana setelah penambahan beban gempa, sehingga hasil yang diharapkan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi informasi bahwa metode *jacketing* adalah salah satu metode perkuatan pada komponen struktur beton bertulang yang bisa di gunakan dalam mengembalikan kekuatan struktur mendekati semula.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Struktur Kolom

Kolom adalah batang tekan vertikal dari rangka (*frame*) struktural yang memikul beban dari balok. Kolom meneruskan beban-beban dari elevasi atas ke elevasi yang lebih bawah hingga akhirnya sampai ke tanah melalui pondasi. 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 (*ultimit total collapse*) seluruh strukturnya. Keruntuhan kolom struktural merupakan hal yang sangat berarti ditinjau dari segi ekonomis maupun segi manusiawi. Oleh karena itu, dalam merencanakan kolom perlu lebih waspada, yaitu dengan 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 (Khoeri, 2021).

2.2 Kapasitas Kolom

Beton dan baja dianggap sebagai satu kesatuan dalam kolom yang dibebani dengan beban aksial. Tegangan dan regangan yang terjadi pada kolom dianggap terdistribusi merata ke seluruh penampang kolom, akibat beban aksial yang bekerja. Sehingga regangan yang terjadi pada beton dianggap sama dengan regangan yang terjadi pada baja ($\epsilon_c = \epsilon_s$). Beton mencapai kekuatan maksimum f'_c , saat regangan yang terjadi mencapai sekitar 0,002 in./in. - 0,003 in./in. Sehingga kapasitas beban aksial maksimum yang dapat dipikul oleh kolom pendek beton bertulang merupakan penjumlahan dari kekuatan beton dan kekuatan baja. Kontribusi beton yaitu $\alpha_c A_c$ atau $0,85 f'_c A_g$. Apabila digunakan luas penampang beton dihitung menggunakan luas penampang bersih beton, maka kontribusi kekuatan beton menjadi $0,85 f'_c (A_g - A_s)$. Sedangkan kontribusi kekuatan baja adalah $\phi_s A_s f_y$. Dalam analisis dan desain kolom, faktor reduksi beban aksial untuk kolom bersengkang yang disyaratkan adalah sebesar 20%, sehingga kapasitas

beban sentris maksimum pada kolom pendek bersengkang yang dibebani aksial menjadi:

$$P_n(\max) = 0,80 (0,85f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (1)$$

Sesuai dengan SNI 2847-2019 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (Badan Standarisasi Nasional, 2019a) pasal.10.3.6.2 untuk desain beban aksial maksimum pada komponen struktur non-prategang dengan tulangan pengikat (termasuk kolom bersengkang) adalah:

$$\Phi P_n(\max) = 0,80 \cdot \Phi (0,85f_c'(A_g - A_{st}) + f_y A_{st}) \quad (2)$$

Keterangan :

ΦP_n : kekuatan kolom atau kapasitas kolom

Φ : faktor reduksi 0,65

f_c' : mutu beton rencana

f_y : tegangan leleh baja

A_g : luas penampang kolom

A_{st} : luas penampang tulangan

2.3 Sistem Perkuatan dan Perbaikan Struktur pada Kolom

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 (Khoeri, 2021). Adapun perkuatan kolom beton adalah tindakan untuk mengantisipasi kolom dari kerusakan yang dapat terjadi, misalnya kerusakan akibat pengaruh lingkungan yang disebabkan karena cuaca dan suhu, kesalahan dalam perencanaan, adanya perubahan fungsi bangunan dari rencana semula (desain) dan akibat beban yang berlebihan dari kapasitas yang direncanakan serta akibat beban sementara seperti gempa, beban hidup yang besar yang tidak terduga, dan lain sebagainya (Khoeri, 2021).

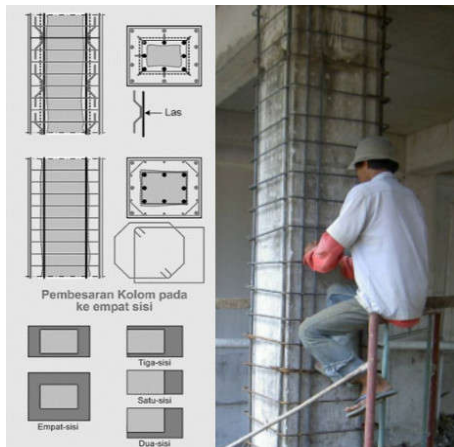
2.4 Sistem Perkuatan Metode *Concrete Jacketing*

Menurut Khoeri (2021), metode jaket beton (*concrete jacketing construction*) adalah salah satu metode perbaikan pada struktur beton bertulang untuk meningkatkan daya dukung beban setelah modifikasi desain struktural atau untuk mengembalikan integritas desain struktur karena kegagalan pada struktur. Konsep dasar metode ini adalah pembesaran dimensi dan penambahan tulangan pada elemen struktur untuk meningkatkan kinerja elemen tersebut. Pembesaran tersebut dilakukan dengan *jacketing* (Gambar 1). Pengganti dari bahan beton telah terbukti sebagai solusi perkuatan yang efektif untuk meningkatkan kinerja seismik kolom. Teknik perkuatan struktur ini digunakan pada kolom bangunan yang bertujuan untuk memperbesar penampang kolom, maka penampang kolom menjadi lebih besar dari pada sebelumnya sehingga kekuatan geser beton menjadi meningkat. Keuntungan utama dari metode ini adalah memberikan peningkatan dan pertambahan batas daripada kekuatan dan duktilitas beton, dan keuntungan kedua, bahwasannya *jacket* dalam melindungi dari kerusakan *fragment* dan struktur yang diperbaiki memiliki kemampuan dalam menerima beban, karena *jacket* dapat mengurangi kegagalan geser langsung (*direct shear*), namun dapat juga menyediakan peningkatan kapasitas struktur itu sendiri (Kaontole dkk, 2015).

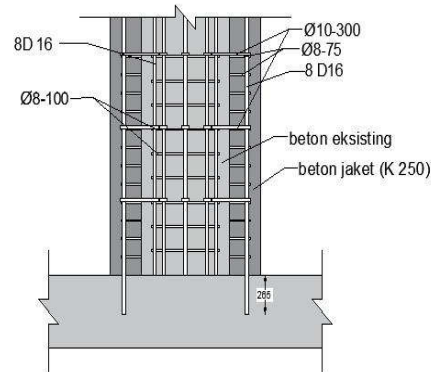
Dalam melakukan perkuatan dengan *concrete jacketing* biasanya digunakan bahan *micro concrete* yang sifatnya dapat memadat sendiri tanpa bantuan vibrator (*self-compaction*) dimana *micro concrete* adalah suatu campuran beton dengan ukuran butiran agregat yang kecil ($< 0,25$ mm), agregat yang digunakan sebagai campuran dalam *micro concrete* ini biasanya adalah pasir silika yang mempunyai gradasi yang heterogen. 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 (Gambar 2):

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.



Gambar 1. Pengerjaan Kolom Jacketing
Sumber: (Khoeri, 2021)



Gambar 2. Detail Kolom Jacketing
Sumber: (Khoeri, 2021)

2.5 Pembebanan Struktur

Beban-beban yang bekerja pada struktur Gedung Mess Korem yaitu beban mati (berat mati material itu sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, beban angin dan beban lateral (beban gempa) sesuai dengan SNI 1727:2020 tentang Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (Badan Standarisasi Nasional, 2020) dan SNI 1726:2019 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non-Gedung (Badan Standarisasi Nasional, 2019b).

2.6 Respon Spektrum

Respon spektrum merupakan nilai spektrum antara periode getar struktur dengan respon maksimum dari suatu rasio redaman atau gempa tertentu yang dihasilkan dalam bentuk grafik (Asyifa dkk, 2018). Parameter percepatan untuk mendapatkan respon spektrum gempa dapat diperoleh dari website Pusat Penelitian dan Permukiman (PUSKIM) Pekerjaan Umum.

2.7 Perilaku Struktur

Struktur yang tidak memiliki kestabilan mudah mengalami keruntuhan pada seluruh struktur bangunannya yang biasanya diawali dengan terjadinya perubahan besar pada sudut disetiap elemen struktur (Schodek, 1991), maka perilaku struktur menjadi salah satu tinjauan dasar untuk menganalisis dan mengetahui perilaku suatu struktur bangunan ketika diberikan beban atau dibebani. Analisis perilaku struktur pada penelitian ini menggunakan metode analisis dinamis ragam respon spektrum yang berupa simpangan antar tingkat (*story drift*), gaya geser dasar (*base shear*), dan gaya-gaya dalam berupa momen, gaya lintang dan gaya aksial.

2.8 Software SAP2000

Software SAP 2000 adalah salah satu program pendukung teknik sipil semakin berkembang dan maju secara cepat, dan merupakan program rekayasa teknik sipil yang berbeda dengan program aplikasi komputer pada umumnya (AutoCAD, Corel Draw, Excel, dan yang lainnya). Program ini digunakan untuk

menganalisa dan desain struktur yang disusun berdasarkan teori Finite Element Analysis (FEA) serta didukung dengan analisis Statis, Dinamis, Linear, maupun non Linear.

Adapun langkah-langkah analisis dan desain struktur sebagai berikut:

1. Komplikasi data bangunan seperti data tanah, dimensi struktur bangunan (kolom, plat, balok) dan fungsi layanan bangunan.
2. Membuat dan merancang pemodelan bangunan.
3. Temuan gaya dalam.
4. Membuat simpulan model struktur bangunan tersebut dengan membandingkan hasil gaya dalam dan gaya luar dari tinjauan output yang dihasilkan.

3. METODE PENELITIAN

Objek penelitian ini adalah replika bangunan Gedung Mess Korem 012/TU Ujong Karang yang berada di lokasi Kecamatan Johan Pahlawan. Permodelan struktur Gedung Mess eksisting yaitu kolom berbentuk persegi dengan ukuran (40/40 cm), balok lantai (30/40 cm) dan ring balok (30/30). Sedangkan permodelan struktur Gedung Mess rencana yaitu kolom berbentuk persegi dengan ukuran (56/56 cm), balok lantai (30/40 cm) dan ring balok (30/30). Penelitian ini melakukan analisis kapasitas kolom dengan perhitungan manual dan bantuan program SAP2000. Metodologi yang dipakai dalam penelitian ini yaitu metode analisis dinamis ragam respon spektrum untuk menganalisis dan membandingkan perilaku struktur bangunan dari permodelan sebelum dan setelah dilakukan perkuatan pada kolom. Perilaku struktur berupa simpangan antar tingkat, gaya geser dasar dan gaya dalam pada bangunan Gedung Mess. Metode ini menggunakan desain kurva respon spektrum yang diperoleh dari website PUSKIM-Pekerjaan Umum atau aplikasi RSA 2019 dengan menginput koordinat lintang dan bujur atau nama kota/lokasi kemudian dimasukkan dalam SAP2000 sebagai beban gempa dinamik.

Langkah-langkah dalam metode analisis yaitu pengumpulan data berupa data teknis bangunan dari hasil survei lapangan dan studi literatur berupa peraturan atau instansi yang berlaku terkait perencanaan struktur, pemodelan struktur bangunan dengan komponen eksisting dan rencana, perhitungan pembebanan yang terdapat pada bangunan gedung Mess Korem yang telah ada. Kemudian dilanjutkan dengan menginput beban-beban yang bekerja pada struktur tersebut termasuk kombinasi pembebanan berdasarkan SNI 1727:2020 (Badan Standarisasi Nasional, 2020), membuka aplikasi Response Spectrum Analysis (RSA) 2019 atau website PUSKIM 2019-Pekerjaan Umum untuk mendapatkan parameter gempa untuk membuat kurva respon spektrum gempa rencana, memasukkan parameter gempa tersebut ke dalam pemodelan pada SAP2000, melakukan analisis karakteristik dinamik struktur yang terdiri dari modus getar alami dan periode getar berdasarkan SNI 1726:2019, serta melakukan analisis perhitungan dan mengontrol simpangan antar tingkat, gaya geser dasar dan gaya dalam sesuai syarat SNI 1726:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019b).

Apabila telah sesuai maka pemodelan 3D (tiga dimensi) struktur kolom bangunan eksisting dimensi (40/40 cm) di ganti menjadi struktur kolom *jacketing* (56/56 cm). Untuk pemodelan gedung rencana mengulangi tahapan yang sama seperti pada pemodelan struktur eksisting hanya saja pada pemodelan rencana ini kolom akan di ganti ukuran awal (40/40 cm) menjadi (56/56 cm) di 14 titik pada lantai 1. Melakukan analisis perhitungan dan mengontrol perilaku struktur yang berdasarkan SNI 1726:2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019b). Pada tahap terakhir penelitian dilakukan perbandingan kapasitas struktur dan perilaku struktur dari kedua pemodelan struktur bangunan untuk mendapatkan kesimpulan dari hasil yang berhubungan dengan tujuan penelitian.

3.1 Komponen Gedung Eksisting dan Rencana

Pembebanan ini disesuaikan dengan data material yang digunakan dan pendimensian masing-masing penampang mencakup pembebanan:

- a. Komponen gedung eksisting

1. Balok Lantai : 30 x 40 cm
2. Kolom Praktis : 15 x 15 cm
3. Kolom Utama : 40 x 40 cm
4. Ring balok Type 2 : 30 x 30 cm
5. Tulangan Utama : 8 Ø16
6. Tulangan Sengkang : Ø12 – 150
7. Mutu beton (f_c) : 21,50 Mpa
8. baja tulangan polos BJTP : 280
9. baja tulangan ulir BJTS : 420A

b. Komponen gedung rencana

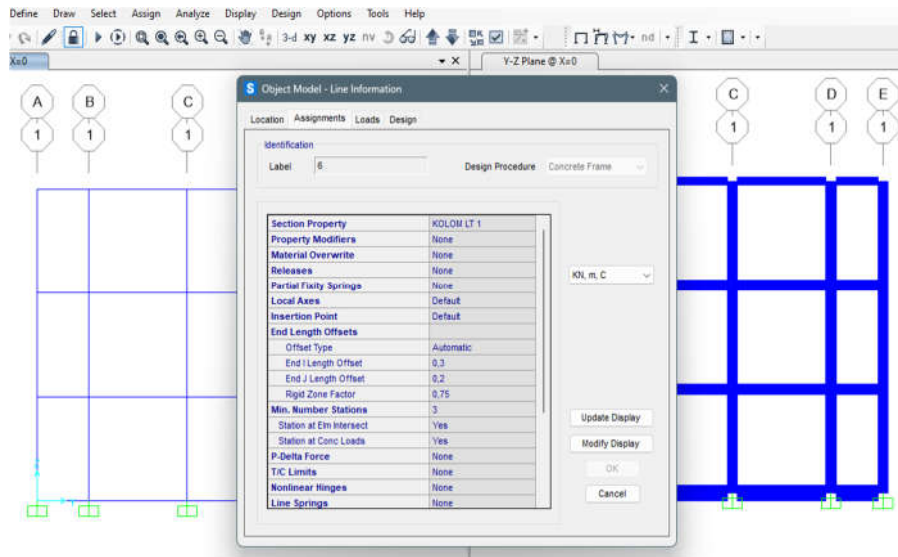
1. Balok Lantai : 30 x 40 cm
2. Kolom Praktis : 15 x 15 cm
3. Kolom Utama : 40 x 40 cm
4. Kolom *Jacketing* : 56 x 56 cm
5. Ring balok Type 2 : 30 x 30 cm
6. Tulangan Utama : 12 Ø16
7. Tulangan Sengkang : Ø12 – 150
8. Mutu beton (f_c) : 30 Mpa
9. baja tulangan polos BJTP : 280
10. baja tulangan ulir BJTS : 420A

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

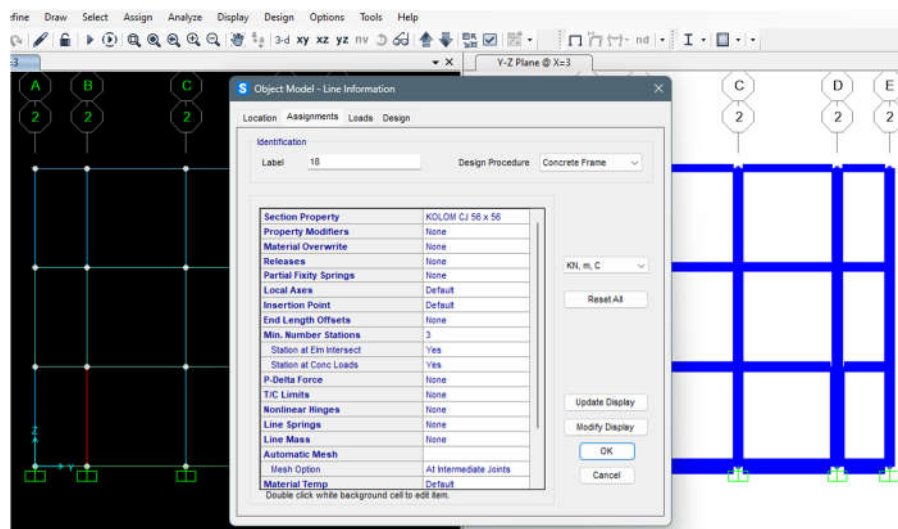
Hasil analisis struktur terdiri dari kondisi simpangan antar lantai, gaya geser dasar dan gaya dalam seperti momen, gaya lintang dan gaya aksial yang terjadi terhadap struktur bangunan. Sedangkan pembahasan merupakan gabungan antara hasil sebelum dan setelah dilakukan perkuatan dengan Metode *Concrete Jacketing* pada kolom untuk memperoleh kesimpulan dalam penelitian ini. Hasil yang didapatkan berupa respon spektrum desain dari website Pusat Penelitian dan Permukiman (PUSKIM) Pekerjaan umum 2019, serta perilaku struktur bangunan gedung Mess Korem dari kedua pemodelan menggunakan metode analisis dinamis ragam respon spektrum. Berdasarkan hasil yang didapatkan maka dilakukan pembahasan berupa perbandingan kapasitas kolom sebelum diperkuat dan setelah kolom diperkuat serta perbandingan perilaku struktur bangunan dari kedua pemodelan.

4.1 Pemodelan Struktur Gedung Eksisting dan Gedung Rencana

Pemodelan struktur gedung eksisting dilakukan secara 3D dengan menggambarkan seluruh elemen struktur meliputi sloof, kolom, balok, dan plat lantai. Pemodelan struktur dilakukan secara Frame and Shell Element, yang berarti elemen balok dan kolom (*frame*) serta plat lantai (*shell*) dimodelkan secara utuh untuk mendapatkan analisis struktur yang lebih akurat dan sesuai dengan kondisi aslinya. Plat lantai dianggap sebagai elemen *shell* yang bersifat menerima beban tegak lurus bidang (vertikal) dan dapat mendistribusikan beban lateral (horizontal) akibat gempa. Pemodelan struktur eksisting dan rencana dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Permodelan 3D Struktur Gedung Mess Korem Eksisting
 Sumber: *Software SAP2000 Versi 22*



Gambar 4. Permodelan 3D Struktur Gedung Mess Korem Rencana

4.2 Hasil Perbandingan Sebelum dan Setelah Kolom Diperkuat

Berdasarkan hasil dari kontrol struktur dan analisis struktur bangunan maka terdapat beberapa perbandingan yang diperoleh seperti simpangan antar lantai, gaya geser dasar, gaya dalam berupa momen, gaya lintang, gaya aksial serta kapasitas kolom. Sedangkan pembahasan merupakan gabungan antara hasil sebelum dan setelah dilakukan perkuatan dengan Metode *Concrete Jacketing* pada kolom untuk memperoleh kesimpulan dalam penelitian ini.

a. Perbandingan gaya geser dasar

Semakin meningkatnya gaya geser dasar maka menunjukkan semakin kaku suatu struktur bangunan. Perbandingan gaya geser dasar maksimum dapat dilihat pada Tabel 1.

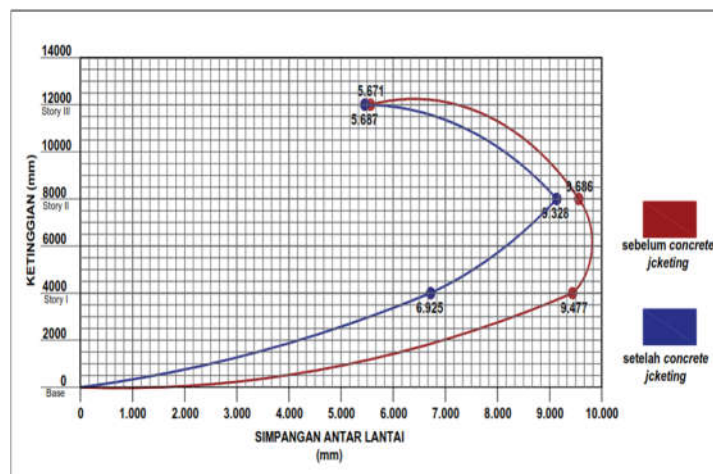
Tabel 1. Perbandingan Gaya Geser Dasar Maksimum

No.	Pemodelan	Gaya Geser Dasar Maksimum (kN)	
		Arah X	Arah Y
1	Sebelum Kolom Diperkuat	8738.09	8672.85
2	Setelah Kolom Diperkuat	11802.24	12674.36

Dari hasil Tabel 1, dapat dilihat bahwa nilai gaya geser dasar tertinggi untuk arah x terjadi pada permodelan kolom setelah diperkuat yaitu sebesar 11082,24 kN dan untuk arah y terjadi pada permodelan kolom setelah diperkuat yaitu sebesar 12674,36 kN. Pada permodelan gedung eksisting sebelum kolom diperkuat dapat terlihat bahwa nilai gaya geser dasar terendah, jadi dengan adanya perkuatan pada kolom lantai 1 dapat menambah nilai gaya geser dasar pada struktur sehingga menghasilkan kekakuan yang lebih besar dari pada sebelumnya.

b. Perbandingan simpangan antar lantai

Perbandingan simpangan antar lantai disajikan dalam bentuk tabel dan grafik berdasarkan hasil analisis yang dilakukan, untuk melihat hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Gabungan Simpangan Antar Lantai

Dari Gambar 5 dapat dilihat bahwa nilai simpangan antar lantai (*drift*) tertinggi yaitu pada permodelan gedung sebelum kolom diperkuat yaitu sebesar 9,477 mm berada pada lantai I atau ditinggikan 4 meter dan nilai *drift* terendah yaitu pada kolom yang setelah diperkuat sebesar 5,687 mm berada pada lantai III atau ditinggikan 12 meter, dengan demikian semakin rendah simpangan antar lantai maka bangunan struktur gedung semakin kokoh, dari perbandingan di atas menunjukkan bahwa perkuatan kolom yang dilakukan hanya pada kolom lantai 1 saja tidak terlalu berpengaruh terhadap kekakuan lantai 2 dan 3 yang tidak diperkuat.

c. Perbandingan gaya-gaya dalam

Perbandingan gaya-gaya dalam disajikan dalam bentuk tabel berdasarkan hasil analisis, untuk melihat hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 2 hingga Tabel 4.

Tabel 2. Momen Maksimum Kolom

Titik Tinjauan	Penampang	Momen Maks		Persentase Peningkatan (%)
		Sebelum Perbaikan (kN)	Setelah Perbaikan (kN)	
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
1	K1E	4.339	9.723	12%
2	K2C	4.807	15.804	23%
3	K3B	3.819	12.505	23%
4	K4C	3.814	10.615	18%
5	K4B	4.242	8.851	11%
6	K5B	3.942	11.164	18%
7	K7D	3.82	8.319	12%
8	K8B	3.961	10.125	16%
9	K10B	4.532	8.791	9%
10	K10D	4.358	9.524	12%
11	K12C	4.251	16.104	28%
12	K13C	3.93	10.0442	16%
13	K14B	3.89	16.038	31%
14	K14D	3.844	11.757	21%

Dari Tabel 2 terlihat bahwa nilai momen maksimum terbesar terjadi pada kolom setelah diperkuat di titik tinjauan 13 sebesar 16,038 kN dan momen maksimum yang terjadi pada kolom sebelum diperkuat sebesar 3,890 kN, sehingga dari hasil ini diperoleh persentase peningkatan yang terjadi sebelum dan setelah kolom diperkuat sebesar 31%.

Tabel 3. Gaya Lintang Maksimum Kolom

Titik Tinjauan	Penampang	Gaya Lintang Maks		Persentase Peningkatan (%)
		Sebelum Perbaikan (kN)	Setelah Perbaikan (kN)	
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
1	K1E	2.884	5.407	9%
2	K2C	3.026	10.083	23%
3	K3B	2.496	5.684	13%
4	K4C	2.677	5.006	9%
5	K4B	2.216	4.707	11%
6	K5B	2.261	5.236	13%
7	K7D	2.416	4.174	7%
8	K8B	2.464	5.724	13%
9	K10B	2.556	4.365	7%
10	K10D	2.542	5.254	11%
11	K12C	2.399	7.546	21%
12	K13C	2.375	6.302	17%
13	K14B	2.635	7.224	17%
14	K14D	2.654	4.274	6%

Dari Tabel 3 terlihat gaya lintang terbesar terjadi pada kolom setelah diperkuat di titik tinjauan 2 sebesar 10,083 kN dan gaya lintang maksimum yang terjadi pada kolom sebelum diperkuat sebesar 3,026 kN, sehingga dari hasil ini diperoleh persentase peningkatan yang terjadi sebelum dan setelah kolom diperkuat sebesar 23%.

Tabel 4. Gaya Aksial Maksimum Kolom

Titik Tinjauan	Penampang	Gaya Aksial Maks		Persentase Peningkatan (%)
		Sebelum Perbaikan (kN)	Setelah Perbaikan (kN)	
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
1	K1E	145.081	173.346	19%
2	K2C	432.642	516.562	19%
3	K3B	405.134	472.742	17%
4	K4C	483.035	569.304	18%
5	K4B	376.699	430.191	14%
6	K5B	384.252	469.049	22%
7	K7D	362.601	450.672	24%
8	K8B	364.079	472.788	30%
9	K10B	365.061	493.339	35%
10	K10D	364.562	474.985	30%
11	K12C	516.154	618.802	20%
12	K13C	514.234	578.732	13%
13	K14B	338.069	439.304	30%
14	K14D	340.911	434.366	27%

Dari Tabel 4 terlihat untuk nilai gaya aksial terbesar terjadi pada kolom setelah diperkuat di titik tinjauan 9 sebesar 493,339 kN dan gaya aksial maksimum yang terjadi pada kolom sebelum diperkuat sebesar 365,061kN, sehingga dari hasil ini diperoleh persentase peningkatan yang terjadi sebelum dan setelah kolom diperkuat sebesar 35%.

d. Perbandingan kapasitas kolom

Perbandingan kapasitas kolom sebelum dan setelah kolom diperkuat disajikan dalam bentuk tabel berdasarkan hasil perhitungan manual yang dilakukan. Kapasitas kolom adalah kemampuan atau daya dukung suatu penampang kolom dalam menerima beban pada struktur bangunan yang dapat dipikul. Perhitungan kapasitas penampang kolom dapat dianalisis dengan cara perhitungan manual menggunakan peraturan SNI 2847-2019 (Badan Standarisasi Nasional, 2019a) sebagai dasar perencanaan kolom. Hasil analisis dapat dilihat pada Tabel 5.

Dari Tabel 5 terlihat bahwa metode perkuatan dengan *jacketing* dapat meningkatkan kapasitas penampang kolom dengan nilai yang paling besar yaitu dua kali lipat dari kapasitas kolom sebelum *jacketing*. Metode perbaikan meningkatkan kapasitas penampang kolom sebesar 3257,3 kN dari kapasitas kolom yang sebelum diperbaiki sebesar 1299,54 kN, sehingga selisih peningkatan yang terjadi pada sebelum dan setelah kolom diperkuat dengan *jacketing* sebesar 1957,76 kN.

Tabel 5. Kapasitas Penampang Kolom

Titik Tinjauan	Kolom	Kapasitas Kolom		Selisih Peningkatan (kN)
		Sebelum Jacketing (kN)	Setelah Jacketing (kN)	
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>e</i>
1	K1E	1299.54	3257.3	1957.76
2	K2C	1299.54	3257.3	1957.76
3	K3B	1299.54	3257.3	1957.76
4	K4C	1299.54	3257.3	1957.76
5	K4B	1299.54	3257.3	1957.76
6	K5B	1299.54	3257.3	1957.76
7	K7D	1299.54	3257.3	1957.76
8	K8B	1299.54	3257.3	1957.76
9	K10B	1299.54	3257.3	1957.76
10	K10D	1299.54	3257.3	1957.76
11	K12C	1299.54	3257.3	1957.76
12	K13C	1299.54	3257.3	1957.76
13	K14B	1299.54	3257.3	1957.76
14	K14D	1299.54	3257.3	1957.76

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil studi menunjukkan bahwa struktur bangunan setelah kolom diperkuat dengan metode *jacketing* menghasilkan nilai simpangan antar lantai yang relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan kolom sebelum diperkuat. Untuk gaya dalam dan gaya geser mengalami peningkatan setelah kolom diperkuat dengan metode *jacketing*. Hal ini disebabkan karena kekakuan struktur bangunan dengan perkuatan pada kolom lebih besar dibandingkan kekakuan struktur sebelum kolom diperkuat.

Perkuatan dengan metode *jacketing* efektif untuk meningkatkan kekuatan geser kolom dan aksial kolom meskipun kurang efektif untuk meningkatkan kekuatan lentur kolom. Kapasitas penampang kolom mengalami peningkatan yang cukup besar yaitu dua kali lipat dari kapasitas kolom sebelum *jacketing*.

Hasil penelitian ini tentu memiliki kekurangan dan perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan melakukan pengembangan terhadap penelitian ini, dengan melakukan perkuatan pada kolom setiap lantai suatu gedung, dan juga melakukan perkuatan pada elemen struktur seperti balok lantai dan ring balok agar meningkatkan kekuatan struktur bangunan dan melakukan pendekatan bentuk pada pemodelan perhitungan analisa dengan menganalogikan kolom sebagai komposit agar hasil yang diharapkan bisa lebih akurat dan tepat dari sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Asyifa, C. N., Muttaqin, M., & Afifuddin, M. 2019. Analisis Kegagalan Struktur Ruang Aula Gedung Serbaguna Kabupaten Pidie Jaya. *Journal of The Civil Engineering Student*, 1(3), 64-70.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019a. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan Berdasarkan SNI 2847:2019*.
- Badan Standarisasi Nasional. 2019b. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung Berdasarkan SNI 1726:2019*.

- Badan Standarisasi Nasional. 2020. *Beban Minimum Untuk Perancangan Gedung dan Struktur Lain Berdasarkan SNI (SNI 1727:2020)*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Boen, T. 2009. *Cara Memperbaiki Bangunan Sederhana Yang Rusak Akibat Gempa Bumi*. World Seismic Safety Initiative.
- Ikhsan, M., Samsunan. 2006. Reliability Evaluation of Structural Columns that Affected by Tsunami in Mina Building Hajj Dormitory Banda Aceh. *International Conference on Engineering and Science for Research and Development (ICESReD)*. 45–50.
- 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*, 3(3), 167–174.
- Khoeri, H. 2021. Pemilihan Metode Perbaikan Dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus Pada Bank Sulteng Palu). *Konstruksia*, 12(1), 93.
- Riskawati, Yusra, A., & Mahmud, S. 2015. Analisa Perbedaan Kekuatan Beton. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1), 19–28.
- Schodek, D.L. 1991. *Struktur*. Erlangga, Bandung.