

# ANALISIS PERBANDINGAN KAPASITAS KOLOM PRA-JACKETING DAN PASCA-JACKETING DENGAN BANTUAN LASER SCANNER PADA PROYEK PENATAAN KAWASAN PUSAKA MASJID BAITURRAHMAN SEMARANG

## *Comparative Analysis of Pre and Post-Jacketing Column using Laser Scanner (Case Study Of Baiturrahman Mosque, Semarang)*

Ulya Halum, Ilham Maryad Simamora, Galih Adya Taurano<sup>1</sup>, Robi Fernando<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Politeknik Pekerjaan Umum, Semarang

Korespondensi: [galih.taurano@pu.go.id](mailto:galih.taurano@pu.go.id) ; [roferwong@gmail.com](mailto:roferwong@gmail.com)

Diterima: 23 Desember 2022, Disetujui: 19 Januari 2023

### **ABSTRAK**

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kapasitas kekuatan struktur kolom sebelum dan setelah dilakukan perkuatan struktur berupa jacketing. Terrestrial Laser Scanner (TLS) digunakan untuk melakukan pengukuran kondisi kolom pre-jacketing dan post-jacketing. Hasil pengukuran berupa data point-clouds sebagai dasar untuk melakukan modeling struktur dalam perangkat lunak BIM Autodesk Revit, kemudian dilakukan perhitungan kapasitas struktur kolom eksisting dan kolom setelah mendapatkan perkuatan struktur secara manual menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel. Hasil pengolahan data laser scanner di dalam software BIM menunjukkan dimensi kolom K1 eksisting sebesar 30x30cm dan K3 eksisting 60x60cm dengan nilai kuat tekan K1 eksisting sebesar 268,95 kN dan kapasitas momen K1 eksisting sebesar 29,77 kNm. Adapun nilai kuat tekan K3 eksisting adalah sebesar 1255,17 kN dan kapasitas momen K3 eksisting sebesar 258,03 kNm, sedangkan peningkatan rata-rata nilai pada kolom K1 setelah jacketing sebesar 773% (kuat tekan) dan sebesar 764% (kapasitas momen). Diketahui juga bahwa peningkatan rata-rata nilai pada kolom K3 setelah jacketing sebesar 115% (kuat tekan) dan sebesar 127% (kapasitas momen).

**Kata kunci:** laser scanner, kapasitas struktur, jacketing.

### **ABSTRACT**

This study aims to compare the strength capacity of the column structure before and after strengthening the structure in the form of concrete jacketing. The Terrestrial Laser Scanner (TLS) is used to measure the condition of the pre-jacketing and post-jacketing columns. The measurement results are in the form of point-clouds data as a basis for modeling the structure in the Autodesk Revit BIM software, then the calculation of the structural capacity of existing column and column structures after obtaining structural reinforcement conducted manually using Microsoft Excel. The result of laser scanner data processed in the BIM software shows that the dimensions of the existing K1 column are 30x30cm and the existing K3 column is 60x60cm where the value of the existing K1 compressive strength is 268.95 kN and the existing K1 moment capacity is 29.77 kNm. While The value of the existing K3 compressive strength is 1255.17 kN and the existing K3 moment capacity is 258.03 kNm. Whereas the increase in the average value in column K1 after jacketing was 773% (compressive strength) and 764% (moment capacity). Meanwhile, the increase in the average value in the K3 column after jacketing was 115% (compressive strength) and 127% (moment capacity).

**Keywords:** laser scanner, structural capacity, jacketing.



## PENDAHULUAN

Masjid Raya Baiturrahman Semarang yang terletak di Jalan Pandanaran No.97 Semarang dibangun pada tahun 1968 dan telah diresmikan pada tanggal 15 Desember 1974. Sejak tanggal peresmian, masjid ini telah terbangun selama lebih dari 50 tahun dan secara rutin digunakan untuk kegiatan keagamaan mulai dari sholat berjamaah, pengajian, hingga kegiatan keagamaan lainnya yang mampu menampung hingga 10.000 jamaah.

Masjid yang berdiri di atas lahan seluas 11.765 m<sup>2</sup> ini tentunya mengalami penurunan kapasitas daya tampung jamaah seiring berjalannya waktu. Selain itu ketika dilakukan pengujian terhadap kekuatan betonnya, diperoleh data kekuatan struktur kolom eksisting sebesar 9,7 MPa. Nilai ini masih berada di bawah standar nilai  $f_c'$  minimum untuk struktur beton normal yang ada pada SNI-2847-2019, yakni 21 MPa. Oleh karenanya dilakukan jacketing beton sebagai upaya perbaikan dan perawatan terhadap struktur masjid.

Metode jacketing merupakan metode perkuatan dengan menambah dimensi struktur dan jumlah tulangannya. Penambahan diameter struktur dan penambahan jumlah tulangan disesuaikan dengan perhitungan desainer yang telah dilakukan sebelumnya oleh perencana. Dengan metode ini, nilai kuat tekan suatu beton akan mengalami peningkatan, sehingga kapasitas daya tampungnya juga akan bertambah.

*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*) dengan *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 (Khoeri, 2020).

Salah satu faktor yang dibutuhkan dalam perhitungan kekuatan struktur yaitu dimensi dari struktur itu sendiri. Untuk mengetahui dimensi struktur bangunan eksisting, diperlukan pengukuran secara langsung terhadap bangunan tersebut. Pada studi kali ini, kami menggunakan alat bantu berupa "3D Laser scanner" yang bisa menangkap bentuk bangunan eksisting secara fisik untuk kemudian ditampilkan pada aplikasi software modelling, yakni Autodesk Revit.

Hasil pengukuran *Terrestrial Laser Scanner* berupa *point clouds* yang mempunyai koordinat 3 dimensi (sumbu x, y, dan z) yang nantinya akan mempermudah proses modelling. Dengan bantuan Autodesk Revit data diolah dan diperoleh ukuran dimensi eksisting. Setelah mengetahui dimensinya, perhitungan dilakukan secara manual dengan bantuan Microsoft Excel. Perhitungan ini hanya dilakukan terhadap struktur kolom dan hanya 2 tipe kolom yang dihitung, yakni kolom K1 dan K3.

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui cara mengolah data struktur dari *Laser Scanner* untuk menentukan dimensi struktur eksisting, menghitung kapasitas struktural kolom eksisting pada Masjid Raya Baiturrahman Semarang sebelum dilakukan jacketing, dan menghitung persentase peningkatan kapasitas struktural kolom pada Masjid Raya Baiturrahman Semarang setelah dilakukan *jacketing*.

## METODE

Jenis pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan deskriptif-kuantitatif. Penelitian ini dilaksanakan pada 7 Februari - 7 Agustus 2022 di proyek Penataan Kawasan Pusaka Masjid Baiturrahman Semarang.

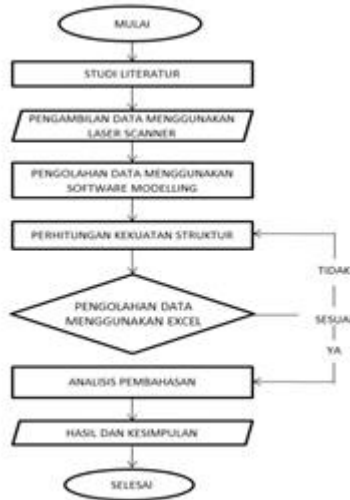
Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kolom struktur pada Proyek Penataan Kawasan Pusaka Masjid Baiturrahman Semarang dengan terdiri dari 6 jenis kolom yaitu K1, K2, K3, K4, K5, K6. Sedangkan sampel yang digunakan adalah 2 jenis kolom yaitu kolom K1 dan K3.

Teknik pengambilan sampling pada penelitian ini menggunakan Teknik purposive sampling. Menurut (Sugiyono, 2018) *purposive sampling* adalah teknik pengambilan sampel sumber data dengan pertimbangan tertentu. Pada penelitian ini ditentukan sampling berdasarkan pertimbangan perubahan ukuran dimensi antara sebelum dan sesudah *jacketing* lebih simetris sehingga menghindarkan dari adanya variabel-variabel lain yang tidak diteliti yang dapat mempengaruhi hasil analisis.

## Data dan Analisis

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini antara lain dimensi kolom, mutu beton, mutu tulangan, jumlah tulangan dan diameter tulangan. Data mengenai dimensi kolom diperoleh dari pengolahan data *laser scanner* yang diambil pada ruangan yang akan diteliti

dengan melakukan pemindaian selama 45 menit dan hasilnya berupa point cloud. Data lalu diolah dalam perangkat lunak Trimble Business Center & Autodesk Revit. Sedangkan data lainnya diperoleh dari Laporan Investigasi dan Penelitian Kelayakan Struktur Masjid Baiturrahman.



**Gambar 1** Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian



(a) (b)

**Gambar 2** (A) Pembuatan File Baru untuk Data yang Akan diambil pada Remote; (B) Centering Alat Via-Remote



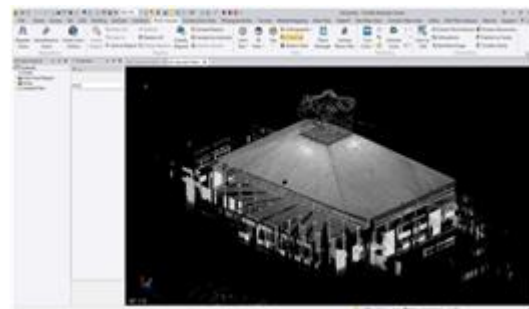
(a) (b)

**Gambar 3** (a) Penentuan Titik pengambilan data menggunakan prisma; (b) Input titik pengambilan pada remote



**Gambar 4** Proses Pemindaian Kolom Eksisting menggunakan Laser Scanner

Data hasil pindaian dari terrestrial laser scanner selanjutnya diimpor ke Trimble Business Center. Peran software ini sebagai jembatan antara terrestrial laser scanner dengan software modelling yang akan kita gunakan pada penelitian ini yaitu Autodesk Revit karena format yang dapat dibaca pada Autodesk Revit yaitu RCP file sementara format dari terrestrial laser scanner berupa RWI file. Pada software ini kita hanya mengolah data menggunakan tab "home" dimana pada tab ini terdapat pilihan "import" dan "export". Hasil export dari software ini selanjutnya diolah pada Autodesk Revit.



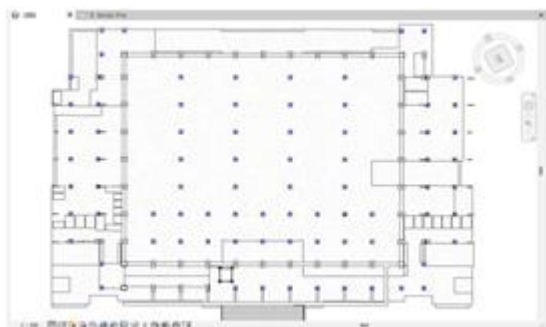
**Gambar 5** Data Hasil Scan 3D yang diolah di dalam Perangkat Lunak Trimble Business Center

Data lain yang diambil adalah data kondisi besi tulangan di dalam kolom eksisting menggunakan pengujian profometer. Hasil deteksi alat ini dapat diketahui posisi dan jarak tulangan yang berada di dalam beton, baik tulangan utama maupun tulangan sengkang.

Data dari laser scanner yang telah diolah menggunakan Autodesk Revit 2020 nantinya akan menghasilkan dimensi struktur eksisting. Kolom yang di-jacketing pada Masjid Raya Baiturrahman terdiri dari 3 tipe, yakni kolom K1, K2, dan K3. Namun, struktur kolom yang akan diteliti dalam penelitian ini hanyalah kolom tipe K1 dan K3.



**Gambar 6** Pemodelan Kolom berdasarkan Data *Laser Scanner*



**Gambar 7** Mapping Kolom K1, Kolom dengan Warna Biru menunjukkan Posisi Kolom K1

Setelah diketahui dimensi struktur eksisting, perhitungan kapasitas kolom eksisting dan pengolahan data hingga didapat diagram interaksi dilakukan secara manual dengan bantuan Microsoft Excel. Perhitungan dilakukan hanya untuk mengetahui kapasitas kolom saja, tanpa menghitung pembebanan yang terjadi pada kolom.

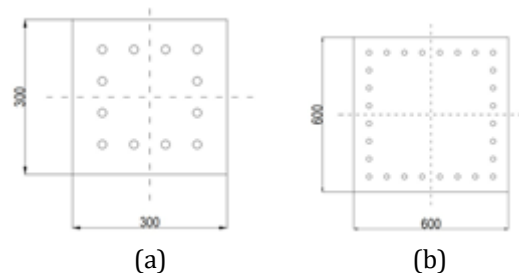
Data lain seperti kuat tekan beton eksisting yang juga diperlukan dalam perhitungan diperoleh dari laporan struktur Masjid Baiturrahman Semarang. Pengujian kuat tekan beton dilakukan menggunakan metode *core drill* pada beberapa titik/lokasi. Lalu sampel benda uji diberi gaya dengan menggunakan alat *compression apparatus* sehingga diketahui kekuatannya.

Kemudian perhitungan dilakukan terhadap kolom yang telah mendapatkan perlakuan perkuatan struktur secara manual menggunakan Microsoft Excel dan dibandingkan hasilnya dengan kapasitas dan kekuatan kolom eksisting.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Data RCP file hasil luaran dari perangkat lunak *Trimbel Business Center* diimpor ke Autodesk Revit dan menjadi acuan dalam pemodelan. Dalam hal ini, mengingat fokus penelitian pada kolom maka hanya dimodelkan bagian struktur masjid. Setelah dilakukan pemodelan maka dapat

diketahui ukuran/dimensi struktur kolom pada Masjid Baiturrahman Semarang. Selanjutnya peneliti dapat melakukan pengelompokan tipe kolom pada bangunan Masjid Baiturrahman.



**Gambar 8** (a) Dimensi kolom K1 Eksisting; (b) Dimensi Kolom K3 Eksisting

## Perhitungan Kapasitas Kolom Eksisting

Data struktur eksisting didapatkan dari Laporan Investigasi dan Penelitian Kelayakan Struktur Masjid Baiturrahman oleh PT. UNDIP MAJU, sedangkan data mutu beton didapatkan dengan melakukan pengujian beton menggunakan *Swiss Hammer*.

Pengambilan benda uji atau sampling dilakukan menggunakan metode *core drill*. Benda uji hasil *core drill* berupa silinder dengan diameter 70 mm. Benda uji kemudian dibawa ke Laboratorium untuk diuji dan ditentukan kuat tekannya.

Metode pengujian dilakukan berdasarkan ASTM C 42/C 42M - 04. Dalam proses pengujiannya, benda uji dibawa ke laboratorium dan diratakan ujungnya. Lalu benda uji dikeringkan selama 2 hari agar seluruh air yang terkandung di dalamnya dapat menguap. Kedua ujung benda uji kemudian dilapisi dengan belerang (*capping*) dan terakhir diletakkan di bawah alat *compression test* untuk diuji tekan.

Sementara itu untuk besi bertulang tidak dilakukan pengujian terkait mutu. Hal ini dikarenakan tulangan masih dalam kondisi terpasang dan masih menopang beban kerja, sehingga akan membahayakan bangunan apabila tulangan diambil untuk diuji tarik. Untuk itu, data terkait mutu tulangan eksisting hanya berupa estimasi saja.

No	Nama Kolom	Dimensi Kolom	Mutu Beton ( $f_c'$ )	Mutu Tulangan	Jumlah Tulangan	Diameter Tulangan
1.	Kolom K1	30x30 cm	9,07 MPa	BJTP-24	12	16 mm
2.	Kolom K3	60x60 cm	9,57 MPa	BJTP-24	28	19 mm

Sumber: Laporan PT UNDIP MAJU

**Gambar 9** Data Kolom dan Tulangan didapatkan dari Pengujian

Dari data tersebut, dilakukan perhitungan kapasitas kolom tipe K1 dan K3. Namun untuk nilai mutu beton diambil nilai pembulatangannya yakni sebesar 9 MPa. Tahap pertama yang dilakukan adalah menghitung nilai  $d$ ,  $d'$ , dan  $x$ . Nilai  $d$  adalah jarak tulangan ke serat terluar beton,  $d'$  adalah jarak selimut beton ditambah dengan jari-jari tulangan, sementara  $x$  adalah jarak antar tulangan. Rumus untuk mencari nilai-nilai tersebut adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} d &= h - r - d_s & (1) \\ d' &= r + d_s \\ x &= \frac{h - 2d_s - \text{diameter tulangan}}{(i - 1)} \end{aligned}$$

Keterangan:

$h$  = panjang kolom  
 $r$  = jari-jari tulangan  
 $d_s$  = tebal selimut beton  
 $i$  = jumlah tulangan sebaris

Tahap kedua dihitung luas tulangan total dan luas tulangan setiap baris yang disesuaikan dengan jumlah tulangan, menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \Sigma A_s &= \pi \frac{1}{4} D^2 n & (2) \\ A_{si} &= \frac{i}{n} A_s \end{aligned}$$

Keterangan:

$\Sigma A_s$  = luas total tulangan  
 $d$  = diameter tulangan  
 $n$  = jumlah tulangan  
 $A_{si}$  = luas tulangan sebaris  
 $i$  = jumlah tulangan sebaris

Tahap ketiga kita mencari nilai, yakni nilai jarak masing-masing tulangan ke serat beton terluar.

$$\begin{aligned} d_1 &= h - d' & (3) \\ d_2 &= d_1 - x \end{aligned}$$

Setelahnya, dihitung nilai  $P_{n0}$ , yakni nilai kuat tekan pada kondisi tekan aksial sentris, nilai momen pada saat lentur murni ( $M_{n0}$ ) dan nilai  $c$  pada kondisi *balance* dengan rumus sebagai berikut.

$$P_{n0} = 0.8 [0.85 f_c' b \cdot h + \Sigma A_s (f_y - 0.85 f_c')] 10^{-3} \quad (4)$$

Untuk mencari  $M_{n0}$ , nilai  $\alpha$  perlu dicari terlebih dahulu.

$$\alpha = \frac{\Sigma A_s f_y}{0.85 f_c' b} \quad (5)$$

$$M_{n0} = \Sigma A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right)$$

Sementara untuk mencari nilai  $c_b$  menggunakan rumus:

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d_1 \quad (6)$$

Keterangan:

$f_c'$  = mutu beton  
 $b$  = panjang dimensi kolom  
 $h$  = lebar dimensi kolom  
 $\Sigma A_s$  = luas total tulangan  
 $f_y$  = kuat leleh tulangan  
 $d_1$  = jarak tulangan pertama ke serat beton terluar

Selanjutnya kita menentukan jumlah jarak garis netral berdasarkan asumsi, menghitung nilai, dan menghitung nilai  $\Delta c$  dengan rumus :

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E} \quad (7)$$

$$\Delta c = \frac{h}{\text{jumlah interval jarak garis netral}}$$

Tahap Keempat dihitung nilai  $\varepsilon_{si}$  dan  $f_{si}$  yang jumlah totalnya disesuaikan dengan jumlah tulangan dalam sumbu tekan atau tarik.

$$\varepsilon_{si} = \varepsilon_y \frac{(c - d_i)}{c} \quad (8)$$

Untuk  $|\varepsilon_{si}| < \frac{f_y}{E}$ , maka:  $f_{si} = \varepsilon_{si} E$

Untuk  $|\varepsilon_{si}| \geq \frac{f_y}{E}$ , maka:  $f_{si} = f_y \frac{|\varepsilon_{si}|}{\varepsilon_{si}}$

Tahap Kelima kita menghitung nilai gaya internal pada masing masing baja tulangan ( $F_{si}$ ) dan resultan gaya internal baja tulangan ( $C_s$ ). Lalu menghitung momen akibat gaya internal masing-masing baja tulangan ( $M_{si}$ ) dan resultannya ( $M_s$ ) dengan rumus sebagai berikut.

$$F_{si} = A_{si} f_{si} \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

$$C_s = \Sigma F_{si}$$

$$M_{si} = F_{si} (0.5h - d_i)$$

$$M_s = \Sigma M_{si}$$

Tahap keenam dihitung tinggi blok tegangan tekan beton ( $a$ ), nilai  $C_c$ ,  $M_c$ ,  $P_n$ , dan  $M_n$  dengan rumus sebagai berikut.

$$\alpha = \beta_1 c \quad (10)$$

$$C_c = 0.85 f_c' \cdot b \cdot a \cdot 10^{-3}$$

$$M_c = C_c \frac{(h - a)}{2}$$

$$P_n = C_c + C_s$$

$$M_n = M_c + M_s$$

Tahap terakhir adalah menghitung nilai  $\phi$  atau faktor reduksi kekuatan untuk mengetahui nilai  $\phi P_n$  dan  $\phi M_n$ .

$$\phi = 0.65 \text{ untuk } P_n \geq 0.1 f'_c \cdot b \cdot h \quad (11)$$

$$\phi = 0.80 \text{ untuk } P_n = 0$$

$$\phi = 0.65 + 0.15 \frac{(P_{n0} - P_n)}{P_n} \text{ untuk } 0 \leq P_n \leq 0.1 f'_c \cdot b \cdot h$$

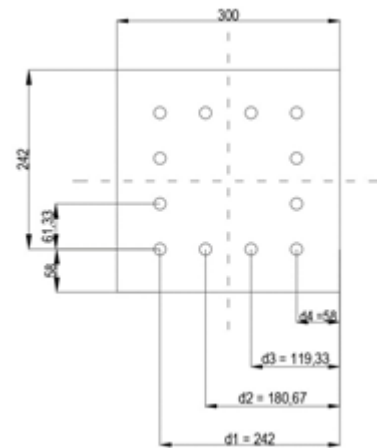
Hasil perhitungan kapasitas kolom eksisting K1 dengan h= 300 mm b = 300mm, mutu beton fc' = 9 MPa dan mutu baja tulangan fy =240 MPa. Tebal selimut beton ds = 50 mm dan konfigurasi tulangan 12D16 (n=12, D=16mm) dengan modulus elastisitas E = 200.000. Karena fc' < 30 MPa, maka β1 = 0.85. Sedangkan K3 dengan h=b=600mm, fc' = 9 MPa, fy = 240 MPa, Tebal selimut beton = 50mm dan menggunakan tulangan 28D19 (n=28, D=19mm) dengan nilai modulus elastisitas E = 200.000 dan β1 = 0.85 (fc' < 30 MPa).

Hasil perhitungan kapasitas kolom K1 dan K3 eksisting ditampilkan pada Tabel 1.

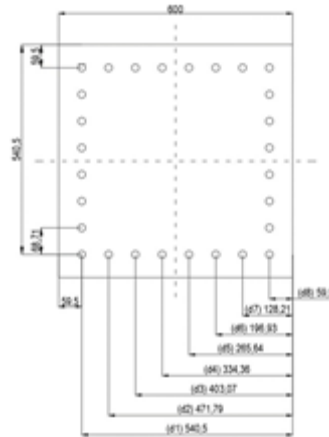
**Tabel 1 Hasil Perhitungan Kapasitas Kolom K1 dan K3 Eksisting**

Parameter	K1	K3
d	242 mm	540.5 mm
d'	58 mm	59.5 mm
x	61,33 mm	68.71 mm
ΣAs	2412.74 mm <sup>2</sup>	7938.80 mm <sup>2</sup>
As1	804.25 mm <sup>2</sup>	2268.23 mm <sup>2</sup>
As2	402.12 mm <sup>2</sup>	567.06 mm <sup>2</sup>
As3	402.12 mm <sup>2</sup>	567.06 mm <sup>2</sup>
As4	804.25 mm <sup>2</sup>	567.06 mm <sup>2</sup>
As5	-	567.06 mm <sup>2</sup>
As6	-	567.06 mm <sup>2</sup>
As7	-	567.06 mm <sup>2</sup>
As8	-	2268.23 mm <sup>2</sup>
d1	242 mm	540.5 mm
d2	180.67 mm	471.79 mm
d3	119.33 mm	403.07 mm
d4	58 mm	334.36 mm
d5	-	265.54 mm
d6	-	196.93 mm
d7	-	128.21 mm
d8	-	59.50 mm
Pn0	999.28 kN	3678.87 kN
a	252.31 mm	415.10 mm
Mn0	67.08 kNm	643.37 kNm
Cb	172.86 mm	386.07 mm
εy	0.0012	0.0012
ΔC	15 mm	30 mm
εs1	-0.00048	-0.00048
εs2	-0.0000542	-0.000266
εs3	0.000372	-0.000053
εs4	0.000797	0.000161
εs5	-	0.000374
εs6	-	0.0005879
εs7	-	0.0008015
εs8	-	0.001015
f_s1	-96 MPa	-96 MPa
f_s2	-10.84 MPa	-53.28 MPa
f_s3	74.31 MPa	-10.6 MPa

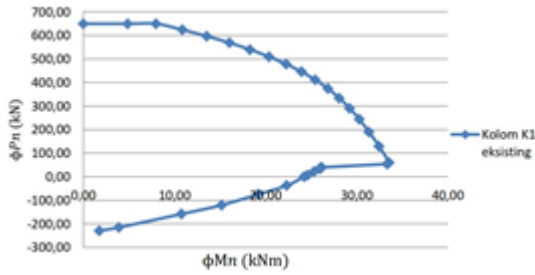
Parameter	K1	K3
f_s4	159.47 MPa	32.2 MPa
f_s5	-	74.8 Mpa
f_s6	-	117.58 MPa
f_s7	-	160.3 MPa
f_s8	-	203 MPa
F_s1	-77.21 MPa	-215.75 MPa
F_s2	-4.36 MPa	-30.22 MPa
F_s3	29.88 MPa	-5.99 MPa
F_s4	128.25 MPa	18.23 MPa
F_s5	-	42.45 MPa
F_s6	-	66.67 MPa
F_s7	-	90.90 MPa
F_s8	-	460.48 MPa
Cs = ΣFsi	76.57 MPa	427.77 Mpa
Ms = ΣMsi	19.952,65 kNm	192.241.3 kNm
α = β1.c	146.93 mm	328.16 mm
Cc	337.20 kN	1506.26 kN
Mc	25.807,92 kNm	204.730.01 kNm
Pn	413.77 kN	1931.03 kN
Mn=Mc+Ms	45.76 kNm	396.97 kNm
φ	0.65	0.65
φPn	268.95 kN	1255.17 kN
φMn	29.74 kNm	258.03 kNm



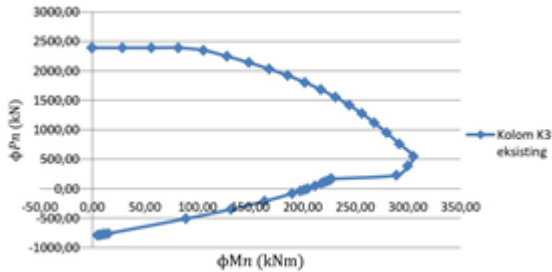
**Gambar 10** Ilustrasi Jarak tiap Pusat Tulangan ke Serat Terluar Beton pada Kolom K1



**Gambar 11** Ilustrasi Jarak tiap Pusat Tulangan ke Serat Terluar Beton pada Kolom K3



Gambar 12 Diagram Interaksi Kolom K1 Eksisting



Gambar 13 Diagram Interaksi Kolom K3 Eksisting

### Perhitungan Kapasitas Kolom Pasca-Jacketing

Diketahui kolom K1 *jacketing* dengan  $h = 600$  mm,  $b = 600$  mm, mutu beton MPa dan mutu baja tulangan MPa. Tebal selimut beton = 50 mm dan menggunakan tulangan 16D13 ( $n = 16$ ,  $D = 13$  mm) dengan nilai modulus elastisitas  $E = 200.000$ . Karena  $f'_c \leq 30$  MPa, maka  $\beta_1 = 0.85$ . Untuk perhitungan mutu beton kolom yang telah dilakukan *jacketing*, mutu beton akhir diambil dari hasil rata-rata mutu beton eksisting dan mutu beton baru. Untuk mencarinya dilakukan perhitungan mutu beton yang dibandingkan terhadap luasan beton dengan mutu tersebut. Adapun perhitungan kolom K1 *jacketing* adalah sebagai berikut.

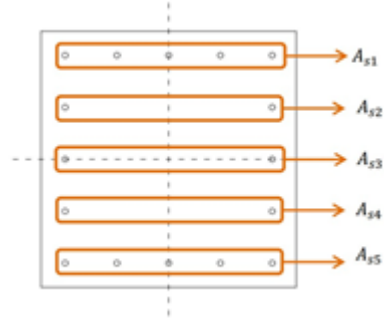
- Perhitungan mutu beton akhir  
Luas beton eksisting =  $L_{eks} = 300 \times 300 = 90.000 \text{ mm}^2$
- Luas beton gabungan =  $L_{gab} = 600 \times 600 = 360.000 \text{ mm}^2$   
Luas beton jacketing = Luas beton gabungan - luas beton eksisting  
 $L_{jack} = 360.000 - 90.000 = 270.000 \text{ mm}^2$   
Mutu beton akhir =  $\left(\frac{L_{eks}}{L_{gab}} \cdot f'_c \text{ eksisting}\right) + \left(\frac{L_{jack}}{L_{gab}} \cdot f'_c \text{ jacketing}\right)$   
 $f'_c \text{ akhir} = \left(\frac{90.000}{360.000} \times 9\right) + \left(\frac{270.000}{360.000} \times 25\right) = \frac{9+75}{4}$   
 $f'_c \text{ akhir} = \frac{84}{8} = 21 \text{ MPa}$
- Menghitung  $d$ ,  $d'$  dan  $x$

$$d = h - r - d_s = 600 - 6,5 - 50 = 543,5 \text{ mm}$$

$$d' = r + d_s = 6,5 + 50 = 56,5 \text{ mm}$$

$$x = \frac{h - 2d_s - \text{diameter tulangan}}{(i-1)} = \frac{600 - 100 - 13}{(5-1)} = \frac{487}{4} = 121,75 \text{ mm}$$

- Menghitung luas tulangan total ( $\Sigma A_s$ ) dan luas tulangan setiap baris ( $A_{si}$ ) dengan ilustrasi pembagian tiap baris tulangan sebagai berikut:



Gambar 14 Pembagian Luasan Per Baris Tulangan

$$\Sigma A_s = \pi \frac{1}{4} D^2 n = 3,14 \times \frac{1}{4} \times 13^2 \times 16 = 3,14 \times 0,25 \times 169 \times 16$$

$$\Sigma A_s = 2123,72 \text{ mm}^2$$

$$A_{si} = \frac{i}{n} \Sigma A_s$$

$$A_{s1} = \frac{5}{16} \Sigma A_s = \frac{5}{16} \times 2123,72 = 663,66 \text{ mm}^2$$

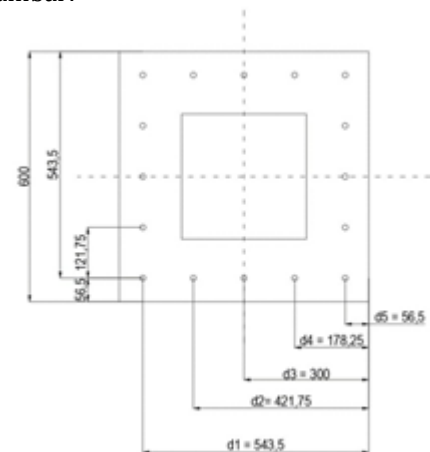
$$A_{s2} = \frac{2}{16} \Sigma A_s = \frac{2}{16} \times 2123,72 = 256,46 \text{ mm}^2$$

$$A_{s3} = \frac{2}{16} \Sigma A_s = \frac{2}{16} \times 2123,72 = 256,46 \text{ mm}^2$$

$$A_{s4} = \frac{2}{16} \Sigma A_s = \frac{2}{16} \times 2123,72 = 256,46 \text{ mm}^2$$

$$A_{s5} = \frac{5}{16} \Sigma A_s = \frac{5}{16} \times 2123,72 = 663,66 \text{ mm}^2$$

- Menghitung nilai  $d$ . Adapun ilustrasi jarak setiap tulangan ke serat terluar beton pada kolom K1 *jacketing* dapat dilihat pada gambar:



Gambar 15 Ilustrasi Jarak Tiap Pusat Tulangan ke Serat Terluar Beton pada Kolom K1

$$d_1 = h - d' = 600 - 56,5 = 543,5 \text{ mm}$$

$$d_2 = d_1 - x = 543,5 - 121,75 = 421,75 \text{ mm}$$

$$d_3 = d_2 - x = 421,75 - 121,75 = 300 \text{ mm}$$

$$d_4 = d_3 - x = 300 - 121,75 = 178,25 \text{ mm}$$

$$d_5 = d_4 - x = 178,25 - 121,75 = 56,5 \text{ mm}$$

- Menghitung nilai atau nilai kuat tekan pada kondisi tekan aksial sentris dan nilai c pada kondisi balance dengan rumus sebagai berikut.

$$P_{n0} = 0,8 [6.426.000 + 854.052,64]10^{-3}$$

$$P_{n0} = 0,8 [7.280.052,64]10^{-3}$$

$$P_{n0} = 5.824.042,12 \text{ N} = 5.824,04 \text{ kN}$$

$$a = \frac{\Sigma A_s f_y}{0,85 f_c' b} = \frac{2123,7 \times 420}{0,85 \times 21 \times 600} = \frac{891.954}{10.710} = 83,28 \text{ mm}$$

$$M_{n0} = \Sigma A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) = 2123,7 \times 420 \times \left( 543,5 - \frac{83,28}{2} \right)$$

$$M_{n0} = 447.638.200,26 \text{ Nmm} = 447,64 \text{ kNm}$$

$$c_b = \frac{600}{600 + f_y} d_1 = \frac{600}{600 + 420} 543,5 = \frac{600}{1020} 543,5 = 0,588 \times 543,5$$

$$c_b = 319,71 \text{ mm}$$

$$P_{n0} = 0,8 [0,85 f_c' b h + \Sigma A_s (f_y - 0,85 f_c')]10^{-3}$$

$$P_{n0} = 0,8 [0,85 \times 21 \times 600 \times 600 + 2123,72(420 - 0,85 \times 21)]10^{-3}$$

$$P_{n0} = 0,8 [6.426.000 + 2123,72 (420 - 17,85)]10^{-3}$$

$$P_{n0} = 0,8 [6.426.000 + 2123,72 (402,15)]10^{-3}$$

- Menentukan jumlah jarak garis netral berdasarkan asumsi. Kami mengasumsikan jumlah jarak garis netral sebanyak 20 titik agar saat membuat kurva diagram interaksi gaya yang bekerja pada kolom, hasilnya lebih detail. Lalu menghitung nilai  $\epsilon_y$ , dan menghitung nilai  $\Delta c$  dengan rumus:

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{E} = \frac{420}{200.000} = 0,0021$$

$$\Delta c = \frac{h}{\text{jumlah interval jarak garis netral}} = \frac{600}{20} = 30 \text{ mm}$$

- Tahap Keempat kita menghitung nilai  $\epsilon_{si}$  dan  $f_{si}$  yang jumlah totalnya disesuaikan dengan jumlah tulangan dalam sumbu tekan atau tarik. Perhitungan nilai  $\epsilon_{si}$  dan  $f_{si}$  dilakukan setiap perubahan nilai c. Contoh penjabaran hitungan dilakukan pada kondisi *balance*, yakni  $c_b = 319,71 \text{ mm}$ .

$$\epsilon_{si} = \epsilon_y \frac{(c - d_i)}{c}$$

$$\epsilon_{s1} = \epsilon_y \frac{(c - d_1)}{c} = 0,002 \frac{(319,71 - 543,5)}{319,71} = 0,002 \frac{-223,79}{319,71}$$

$$\epsilon_{s1} = -0,00084$$

$$\epsilon_{s2} = \epsilon_y \frac{(c - d_2)}{c} = \frac{(319,71 - 543,5)}{319,71} = 0,002 \frac{-102,04}{319,71}$$

$$\epsilon_{s2} = -0,000383$$

$$\epsilon_{s3} = \epsilon_y \frac{(c - d_3)}{c} = 0,002 \frac{(319,71 - 543,5)}{319,71} = 0,002 \frac{19,71}{319,71}$$

$$\epsilon_{s3} = 0,000074$$

$$\epsilon_{s4} = \epsilon_y \frac{(c - d_4)}{c} = 0,002 \frac{(319,71 - 543,5)}{319,71} = 0,002 \frac{141,46}{319,71}$$

$$\epsilon_{s4} = 0,000531$$

$$\epsilon_{s5} = \epsilon_y \frac{(c - d_5)}{c} = 0,002 \frac{(319,71 - 543,5)}{319,71} = 0,002 \frac{163,21}{319,71}$$

$$\epsilon_{s5} = 0,000988$$

- Mencari nilai  $f_{si}$  pada setiap baris tulangan dengan syarat

$$\text{Untuk } |\epsilon_{si}| < \frac{f_y}{E}, \text{ maka } : f_{si} = \epsilon_{si} E$$

$$\text{Untuk } |\epsilon_{si}| \geq \frac{f_y}{E}, \text{ maka } : f_{si} = f_y \frac{|\epsilon_{si}|}{\epsilon_{si}}$$

$$|\epsilon_{s1}| = 0,00084 < 0,0021, \text{ maka } f_{s1} = -0,00084 \times 200.000$$

$$f_{s1} = -168 \text{ MPa}$$

$$|\epsilon_{s2}| = 0,000383 < 0,0021, \text{ maka } f_{s2} = -0,000383 \times 200.000$$

$$f_{s2} = -76,6 \text{ MPa}$$

$$|\epsilon_{s3}| = 0,000074 < 0,0021, \text{ maka } f_{s3} = 0,000074 \times 200.000$$

$$f_{s3} = 14,8 \text{ MPa}$$

$$|\epsilon_{s4}| = 0,000531 < 0,0021, \text{ maka } f_{s4} = 0,000531 \times 200.000$$

$$f_{s4} = 106,2 \text{ MPa}$$

$$|\epsilon_{s5}| = 0,000988 < 0,0021, \text{ maka } f_{s5} = 0,000988 \times 200.000$$

$$f_{s5} = 197,6 \text{ MPa}$$

- Menghitung nilai gaya internal pada masing masing baja tulangan ( $F_{si}$ ) dan resultan gaya internal baja tulangan ( $C_s$ ).

$$F_{si} = A_{si} \cdot f_{si} \cdot 10^{-3}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{s1} \cdot 10^{-3} = 663,66 \times (-168) \times 10^{-3} = -111,5 \text{ MPa}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot f_{s2} \cdot 10^{-3} = 265,46 \times (-76,6) \times 10^{-3} = -20,34 \text{ MPa}$$

$$F_{s3} = A_{s3} \cdot f_{s3} \cdot 10^{-3} = 265,46 \times 14,8 \times 10^{-3} = 3,93 \text{ MPa}$$

$$F_{s4} = A_{s4} \cdot f_{s4} \cdot 10^{-3} = 265,46 \times 106,2 \times 10^{-3} = 28,19 \text{ MPa}$$

$$F_{s5} = A_{s5} \cdot f_{s5} \cdot 10^{-3} = 663,66 \times 197,6 \times 10^{-3} = 70,47 \text{ MPa}$$

$$C_s = \Sigma F_{si} = -111,5 - 20,34 + 3,93 + 28,19 + 70,47 = -99,71 \text{ MPa}$$

- Menghitung momen akibat gaya internal masing-masing baja tulangan ( $M_{si}$ ) dan resultannya ( $M_s$ ).



$$M_{si} = F_{si} \cdot (0,5h - d_i)$$

$$M_{s1} = F_{s1}(0,5h - d_1) = (-111,5) \times [(0,5 \times 600) - 543,5]$$

$$M_{s1} = (-111,5) \times (-243,5) = 27.149,06 \text{ kNmm}$$

$$M_{s2} = F_{s2}(0,5h - d_2) = (-20,34) \times [(0,5 \times 600) - 421,75]$$

$$M_{s2} = (-20,34) \times (-121,75) = 2.475,85 \text{ kNmm}$$

$$M_{s3} = F_{s3}(0,5h - d_3) = (3,93) \times [(0,5 \times 600) - 300]$$

$$M_{s3} = (3,93) \times (0) = 0 \text{ kNmm}$$

$$M_{s4} = F_{s4}(0,5h - d_4) = (28,19) \times [(0,5 \times 600) - 178,25]$$

$$M_{s4} = (28,19) \times (121,75) = 3.432,08 \text{ kNmm}$$

$$M_{s5} = F_{s5}(0,5h - d_5) = (70,47) \times [(0,5 \times 600) - 56,5]$$

$$M_{s5} = (70,47) \times (243,5) = 17.160,39 \text{ kNmm}$$

$$M_s = \Sigma M_{si} = 27.149,06 + 2.475,85 + 0 + 3.432,08 + 17.160,39$$

$$M_s = 50.217,38 \text{ kNmm}$$

- Menghitung tinggi blok tegangan tekan beton (a), nilai  $C_c$ ,  $M_c$ ,  $P_n$ ,  $M_n$  dan dengan rumus sebagai berikut.

$$a = \beta_1 \cdot c_b = 0,85 \times 319,71 = 271,75 \text{ mm}$$

$$C_c = 0,85 f'_c \cdot b \cdot a \cdot 10^{-3} = 0,85 \times 21 \times 600 \times 271,75 \times 10^{-3} = 2.910,44 \text{ kN}$$

$$M_c = C_c \frac{(h-a)}{2} = 2.910,44 \times \frac{(600-271,75)}{2} = 2.910,44 \times 164,13$$

$$M_c = 477.676,38 \text{ kNmm}$$

$$P_n = C_c + C_s = 2.910,44 + (-99,71) = 2.810,73 \text{ kN}$$

$$M_n = M_c + M_s = 477.676,38 + 50.217,38 = 527.893,76 \text{ kNmm}$$

$$M_n = 527,89 \text{ kNm}$$

- Mencari nilai  $\phi$  atau faktor reduksi kekuatan untuk mengetahui nilai  $\phi P_n$  dan  $\phi M_n$ .

$$\phi = 0,65 \text{ untuk } P_n \geq 0,1 \cdot f'_c \cdot b \cdot h$$

$$\phi = 0,80 \text{ untuk } P_n = 0$$

$$\phi = 0,65 + 0,15 \frac{(P_n - P_{n1})}{P_{n2} - P_{n1}} \text{ untuk } 0 \leq P_n \leq 0,1 \cdot f'_c \cdot b \cdot h$$

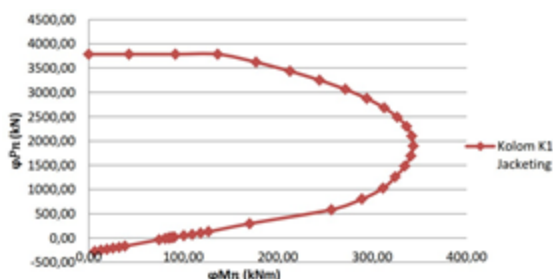
$$0,1 \cdot f'_c \cdot b \cdot h = 0,1 \times 21 \times 600 \times 600 = 756.000 \text{ N} = 756 \text{ kN}$$

Karena  $P_n = 2.810,73 > 0,1 \cdot f'_c \cdot b \cdot h$ , maka  $\phi = 0,65$ . Untuk nilai  $\phi P_n$  dan  $\phi M_n$  adalah :

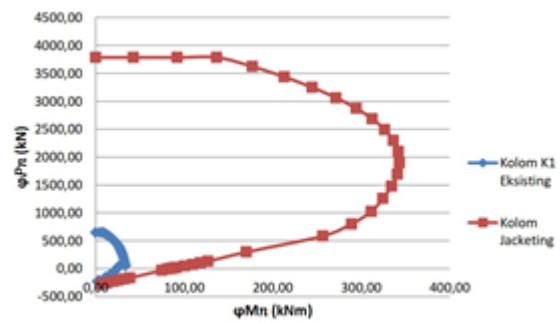
$$\phi P_n = 0,65 \times 2.810,73 = 1.826,97 \text{ kN}$$

$$\phi M_n = 0,65 \times 527,89 = 343,13 \text{ kNm}$$

Jika dibuat kurva perbandingan nilai  $\phi$  dan  $\phi$  setiap interval jarak garis netral dengan  $\Delta c = 30$  mm adalah sebagai berikut (Gambar 16).

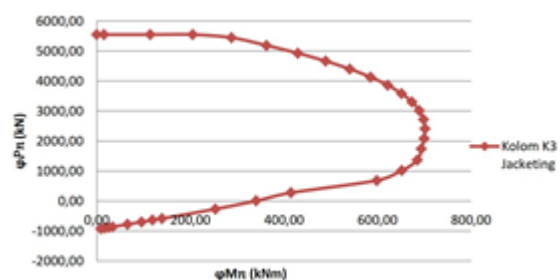


Gambar 16 Diagram Interaksi Kolom K1-Jacketing

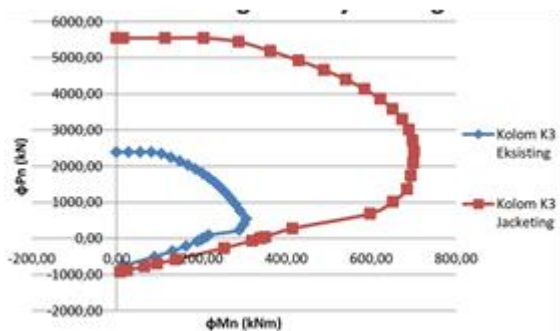


Gambar 17 Perbandingan Diagram Interaksi Kolom K1 Eksisting dan K1 Jacketing

Sedangkan dari hasil perhitungan kapasitas kolom K3-jacketing menghasilkan diagram interaksi dalam Gambar 17 berikut.



Gambar 18 Diagram Interaksi Kolom K3 Jacketing



Gambar 19 Perbandingan Diagram Interaksi Kolom K3 Eksisting dan K3 Jacketing

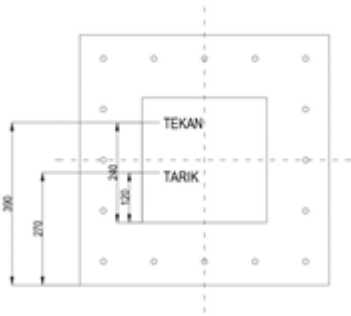
Berdasarkan grafik dalam Gambar 16 sampai Gambar 19 dapat kita lihat bahwa terjadi peningkatan kapasitas kekuatan tarik kolom K3 karena grafik yang berwarna merah (setelah jacketing) menunjukkan titik-titik yang nilainya lebih besar dari pada grafik berwarna biru (sebelum jacketing).

### Perhitungan Persentase Peningkatan Kapasitas Kolom Pasca-Jacketing

Perbandingan peningkatan kapasitas kekuatan kolom yang di-jacketing ditinjau dari 5 kondisi, yakni kondisi saat atau aksial murni, atau momen lentur murni, kondisi *balance*, kondisi tarik, dan kondisi tekan.

Kolom K1 pada kondisi tekan diambil pada titik 240 mm dari ujung bawah kolom K1 eksisting. Sehingga setelah dilakukan *jacketing* titik tersebut berubah ukurannya menjadi 390 mm dari ujung kolom K1 eksisting.

Sementara pada kondisi tarik diambil pada titik 120 mm dari ujung bawah kolom K1 eksisting. Sehingga setelah dilakukan *jacketing* titik tersebut berubah ukurannya menjadi 270 mm dari ujung kolom K1 eksisting. Adapun ilustrasi pengambilan titik kondisi tekan dan kondisi tarik ditunjukkan pada Gambar 20.



**Gambar 20** Ilustrasi Pengambilan Titik Sampel pada Kondisi Tekan dan Tarik di Kolom K1

Untuk kondisi balance diambil titik sesuai nilai  $c_b$  kolom K1 yakni 172,86 mm.

Data perbandingan peningkatan kapasitas kekuatan kolom K1 ditunjukkan pada Tabel 2.

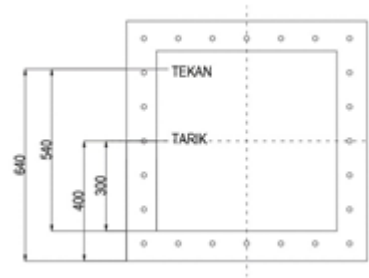
**Tabel 2** Tabel Perbandingan Peningkatan Kapasitas Kekuatan Kolom K1

Kondisi	Pn Eks	Mn Eks	Pn Jack	Mn Jack	kenaikan Pn (%)	kenaikan Mn (%)
Pn0	999,28	0	5824,04	0	483%	0%
Tekan	445,46	23,95	2303,46	336,58	417%	1305%
Balance	268,95	29,77	1848,42	343,15	587%	1053%
Tarik	60,15	33,56	1489,39	334,63	2376%	897%
Mno	0	67,08	0	447,64	0%	567%

Jika dirata-rata, presentase peningkatan kapasitas kekuatan kolom K1 dari kelima data tersebut adalah sebesar 773% untuk Pn dan 764% untuk nilai Mn.

Kolom K3 pada kondisi tekan diambil pada titik 540 mm dari ujung bawah kolom K3 eksisting. Sehingga setelah dilakukan *jacketing* titik tersebut berubah ukurannya menjadi 640 mm dari ujung kolom K3 eksisting.

Sementara pada kondisi tarik diambil pada titik 300 mm dari ujung bawah kolom K3 eksisting. Sehingga setelah dilakukan *jacketing* titik tersebut berubah ukurannya menjadi 400 mm dari ujung kolom K3 eksisting. Adapun ilustrasi pengambilan titik kondisi tekan dan kondisi tarik ditunjukkan pada Gambar 21.



**Gambar 21** Ilustrasi Pengambilan Titik Sampel pada Kondisi Tekan dan Tarik di Kolom K1

Untuk kondisi balance diambil titik  $c_b$  sesuai nilai kolom K3 yakni 386,07 mm.

Data perbandingan peningkatan kapasitas kekuatan kolom K3 ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3** Tabel Perbandingan Peningkatan Kapasitas Kekuatan Kolom K3

Kondisi	Pn Eks	Mn Eks	Pn Jack	Mn Jack	Kenaiakan Pn (%)	Kenaiakan Mn (%)
Pn0	3678,87	0	8532,06	0	132%	0%
Tekan	1919,85	185,88	4129,46	585,43	115%	215%
Balance	1255,17	258,03	2686,61	699,14	114%	171%
Tarik	760,79	292,04	2404,48	701,81	216%	140%
Mno	0	634,37	0	1315,05	0%	107%

Jika dirata-rata, presentase peningkatan kapasitas kekuatan kolom K3 dari kelima data tersebut adalah sebesar 115% untuk Pn dan 127% untuk nilai Mn.

## KESIMPULAN

Kapasitas kekuatan tekan kolom K1 eksisting pada kondisi *balance* sebesar 268,95 kN dan kapasitas momen pada kondisi *balance* sebesar 29,77 kNm. Kapasitas kekuatan tekan kolom K3 eksisting pada kondisi *balance* sebesar 1255,17 kN dan kapasitas momen pada kondisi *balance* sebesar 258,03 kNm.

Setelah dilakukan perhitungan dan perbandingan peningkatan kapasitas kolom pada kondisi atau aksial murni, atau momen lentur murni, kondisi *balance*, kondisi tarik, dan kondisi tekan, dapat ditarik kesimpulan bahwa peningkatan rata-rata kapasitas kekuatan tekan (Pn) kolom K1 setelah dilakukan *jacketing* adalah sebesar 773% dan peningkatan rata-rata kapasitas momen (Mn) kolom K1 setelah dilakukan *jacketing* adalah sebesar 764%. Sementara peningkatan rata-rata kapasitas kekuatan tekan (Pn) kolom K3 setelah dilakukan *jacketing* adalah sebesar 115% dan peningkatan rata-rata kapasitas momen (Mn) kolom K3 setelah dilakukan *jacketing* adalah sebesar 127%.

Disarankan pada penelitian selanjutnya memperdalam mengenai *software* yang dapat mendukung pengambilan data untuk perhitungan struktur. Sebaiknya dilakukan analisa struktur menggunakan SAP 2000/ETABS atau perangkat lunak sejenis agar dapat mengimplementasikan gaya dalam terhadap diagram interaksi kolom.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Antonious. (2019). Perilaku Dasar dan Desain Beton Bertulang Berdasarkan SNI-2847-2019. Semarang: Unissula Press
- [2] Fauzan dkk (2015). Perkuatan Struktur Bangunan Masjid Nurul Ilmi Menggunakan Metode Jacketing. Prosiding 2nd Andalas Civil Engineering National Conference, 113-119.
- [3] Kaontole, Jenefer Teofany dkk (2015). Evaluasi Kapasitas Kolom Beton Bertulang yang Diperkuat dengan Metode Concrete Jacketing. Jurnal Sipil Statik Vol. 3, 167-174.
- [4] Khoeri, Heri (2020). Pemilihan Metode Perbaikan dan Perkuatan Struktur Akibat Gempa (Studi Kasus Bank Sulteng Palu). Jurnal Konstruksia Vol. 12 No. 2, 93-104.
- [5] Laporan Investigasi dan Penelitian Kelayakan Struktur Masjid Baiturrahman Simpanglima Semarang. Semarang: PT. UNDIP MAJU. 2020
- [6] Setiawan, Agus. (2016). Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847: 2013. Jakarta: Erlangga
- 7] Anand, P. & Kumar, S. (2020) Effect of Reinforced Concrete Jacketing on Axial Load Capacity of Reinforced Concrete Column. Civil Engineering Journal, Vol. 6