

ANALISA DAKTILITAS KOLOM BETON BERTULANG TERKEKANG DENGAN METODE MENDER DAN SOFTWARE XTRACT

Indra Agung Laksono¹, Muhammad Ujjianto²

^{1,2} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani No.157, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo, Jawa Tengah 57169
d100190290@student.ums.ac.id, ujjianto@ums.ac.id

Abstrak

Kolom merupakan salah satu komponen utama dalam struktur bangunan gedung yang berfungsi menerima dan kemudian menyalurkan beban aksial pada pondasi. Tanpa adanya kolom yang baik struktur bangunan dapat mengalami keruntuhan seluruhnya. Oleh karena itu, kolom hendaknya direncanakan dengan nilai daktilitas yang cukup sehingga dapat menyerap dan menruskan energi dari luar. Salah satu cara untuk menaikkan nilai daktilitas kolom adalah dengan penambahan tulangan transversal atau sengkang. Penulis melakukan analisis daktilitas pada kolom beton bertulang dengan bantuan software XTRACT. Pada analisis efek pengekangan disertakan yaitu inti beton dirumuskan sebagai beton terkekang dengan memakai formula Mander 1988. Dari hasil analisis yang telah dilakukan kolom 1 dengan dimensi 600 mm x 600 mm jumlah tulangan memanjang 8 mm dan diameter 25 mm serta jarak sengkang sebesar 100 mm memiliki nilai daktilitas sebesar 30,76, kolom 2 dengan dimensi 800 mm x 800 mm, jumlah tulangan memanjang 16 mm dan diameter 25 mm serta jarak sengkang sebesar 100 mm menunjukkan nilai daktilitas sebesar 31,17. Selain itu pemberian sengkang atau tulangan transversal pada kolom dapat meningkatkan kuat tekan pada kolom 1 meningkat sebesar 14,833% dan pada kolom 2 meningkat sebesar 4,067%.

Kata Kunci: Kolom, Daktilitas, Pengekangan, Software Xtract

Abstract

The column is one of the main components in the building structure which functions to receive and then transmit axial loads on the foundation. Without good columns, the building structure can collapse completely. Therefore, the column should be designed with sufficient ductility so that it can absorb and transmit external energy. One way to increase the value of column ductility is by adding transverse reinforcement or stirrups. The author performs a ductility analysis on reinforced concrete columns with the help of XTRACT software. In the analysis of the restraint effect it is included that the concrete core is formulated as confined concrete using the Mander 1988 formula. From the results of the analysis that has been carried out column 1 with dimensions of 600 mm x 600 mm the number of elongated reinforcement is 8 mm and the diameter is 25 mm and the stirrup distance is 100 mm has a value ductility of 30.76, column 2 with dimensions of 800 mm x 800 mm, the number of longitudinal reinforcement 16 mm and a diameter of 25 mm and stirrup spacing of 100 mm shows a ductility value of 31.17. Besides that, the provision of stirrups or transverse reinforcement to the column can increase the compressive strength in column 1 increasing by 14.833% and in column 2 increasing by 4.067%.

Key words: Column, Ductility, Confinement, Software Xtract

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan wilayah yang rawan akan terjadi gempa bumi karena banyaknya gunung yang masih aktif dan Indonesia sendiri terletak pada jalur pertemuan tiga lempeng tektonik yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia dan Pasifik. Sehingga dengan keadaan wilayah Indonesia seperti diatas diperlukan konsep bangunan yang tahan akan gempa. Sesuai dengan SNI 03-1726-2002, Ketika terjadi gempa kuat struktur tahan gempa tidak akan roboh dan saat terjadi gempa sedang akan mengalami kerusakan

seminimal mungkin. Hal tersebut berhasil apabila struktur bangunan mampu untuk menyerap serta menyebarkan energi dari gempa. Sehingga, komponen struktur harus mampu menahan lendutan sebesar mungkin tanpa mengurangi kekuatannya atau disebut juga daktilitas.

Struktur bangunan yang kuat tidak hanya didapatkan dengan mutu beton yang tinggi. Karena semakin tinggi mutu beton maka semakin kecil kemampuan regangannya maka dari itu beton merupakan salah satu komponen struktur yang getas. Beton memiliki sifat getas dan tidak

memiliki ketahanan tarik yang tinggi. Sehingga apabila diinginkan beton dengan ketahanan daktilitas yang tinggi salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan pemberian tulangan yang dilengkapi pengekanan atau *confinement* (Sudarsana IK, 2010). Pengekanan dapat meningkatkan daktilitas pada beton bertulang karena dapat menahan penambahan lateral akibat efek *poisson* selama dilakukan pembebanan (Sufaat,dkk, 2015)

Salah satu komponen struktur yang memiliki peran yang besar dan memerlukan daktilitas yang tinggi adalah kolom. Karena kolom sendiri berfungsi menerima kemudian meruskan beban aksial pada fondasi. Keruntuhan struktur secara total juga dapat dicegah dengan struktur kolom yang kuat. Diharapkan keruntuhan pada struktur merupakan keruntuhan dengan tipe daktil sehingga dapat memberikan penunjuk awal kepada pengguna bangunan yaitu sebelum terjadi keruntuhan struktur mengalami deformasi yang besar (Partogi H. Simatupang,2018). Sehingga dalam penelitian ini penulis melakukan analisis keefektifan pengengkangan terhadap nilai daktilitas yang di bantu menggunakan *software XTRACT*.

1.2 Manfaat Penelitian

Beberapa faktor yang telah disebutkan sebelumnya dapat dipahami bahwa konsep desain struktur bangunan harus bersifat daktil mengingat daktilitas sangat berpengaruh pada kekuatan struktur. Penelitian ini diharapkanakan memberikan gambaran pada perencanaan struktur kedepannya terkhusus untuk mengetahui keefektifan pengengkangan pada kolom terhadap nilai daktilitas.

1.3 Teori

1.3.1 Kolom

Definisi Kolom sesuai dengan SNI 03-2847-2002 yaitu salah satu bagian struktur yang mempunyai rasio tinggi terhadap dimensi lateral terkecil, tiga kali lebih besar dari pada yang digunakan untuk mendukung beban aksial tekan. Sedangkan salah satu bagian struktur tekan tegak mempunyai rasio tinggi bebas terhadap minimum dimensi lateral rata-rata lebih kecil dari tiga atau biasanya disebut dengan *pedestal*. Kolom memiliki fungsi meneruskan beban dari atas menuju kebawah hingga sampai pada tanah melalui fondasi (Edward G. Nawy, 1998).

Kolom juga merupakan elemen pada sstruktur bangunan yang berfungsi untuk memikul momen. Oleh karena itu diperlukan

pendetailan sengkang atau tulangan transversal untuk mempertahankan inti beton tetap terkekang (Anang Kristianto, 2020). Hal tersebut membuktikan bahwa kolom memiliki peran penting dalam sistem struktur bangunan karena kegagalan pada kolom berdampak pada keruntuhan komponen hingga keruntuhan total pada struktur bangunan (Stefan Theophilus, 2016). Selain itu keruntuhan pada komponen tekan pada struktur cenderung bersifat tiba tiba atau tidak adak peringatan terlebih dahulu (Stefan Theopilus,2016). Sehingga Ketika merencanakan kolom hendaknya harus di perhitungkan secermat mungkin.

1.3.2 Daktilitas

Salah satu faktor yang paling penting dalam perencanaan bangunan tahan gempa adalah daktilitas. Daktilitas merupakan kemampuan struktur dalam menahan respon inelastic, defleksi maksimal serta dapat menyerap energi. Setiap elemen struktur bangunan harus memiliki daktilitas agar dapat meningkatkan kemampuan menahan beban luar (Dewi Pertiwi, 2019).

Komponen struktur bangunan yang memiliki daktilitas yang tinggi dapat menyerap energi dari pada yang memiliki daktilitas lebih kecil. Komponen struktur bangunan harus memiliki daktilitas yang cukup sehingga ketika terjadi keruntuhan diharapkan masih dapat memberikan waktu kepada pengguna bangunan untuk menyelamatkan diri (Nurlina, 2016). Menurut SNI 1726:2019 menyebutkan daktilitas penampang harus lebih besar sama dengan 16. Daktilitas suatu komponen struktur dapat diketahui atau ditinjau melalui kurva tegangan regangan yang diperoleh melalui pengujian aksial.

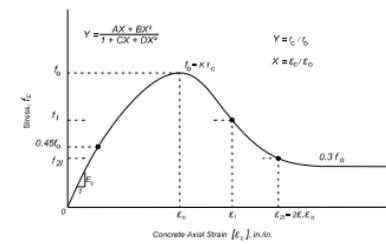
Daktilitas kolom dibagi menjadi dua yaitu daktilitas kurvatur dan daktilitas perpindahan. Daktilitas kurvatur merupakan daktilitas yang didapat melalui perhitungan kemampuan penampang seperti dari dimensinya dan penulangannya. Sedangkan daktilitas perpindahan adalah daktilitas yang didapat melalui perhitungan perpindahan ultimate terhadap perpindahan leleh elemen tersebut (Mahmud, 2016).

1.3.3 Pengekanan dan Tegangan Regangan

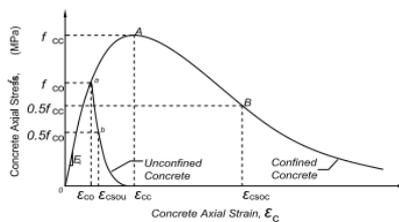
Pengekanan pada kolom dapat meningkatkan kekuatan atau kemampuannya. Rata-rata pengekanan dilakukan oleh sengkang atau disebut juga tulangan transversal. Banyak penelitian sebelumnya yang menyatakan

penambahan sengkang dapat berpengaruh pada tegangan dan regangan (Park Paul, 1975).

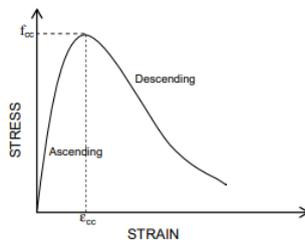
Tulangan transversal memiliki bentuk berbeda-beda dapat berbentuk persegi, spiral serta dilengkapi dan tidak dilengkapi dengan Sengkang menyalang. Terdapat penelitian penelitian yang sudah dilakukan mengenai model tegangan regangan untuk beton terkekang dengan bentuk penampang persegi diantaranya Yong,dkk (1988), Cusson dan Paultre (1993), Diniz dan Frangopol (1997) dan Hong Han (2005) (Tavio,2009). Gambar grafik kurva masing masing peneliti dapat dilihat pada gambar 1.



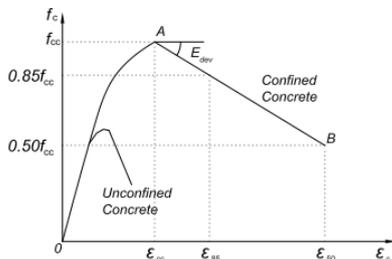
(a) Yong, dkk. (1988)



(b) Cusson dan Paultre (1993)



(c) Diniz dan Frangopol (1997)

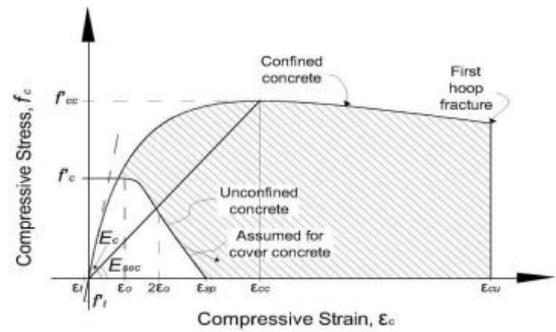


(d) Hong dan Han (2005)

Gambar 1. Grafik kurva tegangan regangan
Sumber: Tavio, 2009

Pendekatan kurva tegangan regangan bagi beton bertulang sesuai diimplementasikan baik pada tulangan transversal berbentuk lingkaran ataupun persegi (Mender et al, 1988). Menurut Mender et al. (1988) Ketika tegangan tekanan

mencapai nilai minimum, maka sengkang akan mengalami tekanan, walaupun tekanan yang ada masih rendah dan tidak mempengaruhi beton. Tetapi ketika tegangan ultimate tercapai kemudian mengalami keretakan, beton akan mengembang kemudian menekan Sengkang. Hal tersebut dapat meningkatkan nilai daktilitas penampang secara signifikan karena daerah beton terkekang oleh tulangan concrete transversal. Grafik kurva tegangan regangan menurut Mender dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik kurva tegangan regangan beton terkekang dan tidak terkekang menurut Mender 1988.
Sumber: Mender et al. 1988

Perumusan pemodelan tegangan regangan dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$f_c = \frac{f'_{cc} x r}{r - 1 + x^r} \quad (1)$$

Dengan

$$x = \frac{\epsilon_c}{\epsilon_{cc}} \quad (2)$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} \quad (3)$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\epsilon_{cc}} \quad (4)$$

$$\epsilon_{cc} = \epsilon_{c0} \left[1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right] \quad (5)$$

Dengan nilai $\epsilon_{c0} = 0,002$

Kemudian f'_{cc} dihitung dari,

$$f'_{cc} = f'_c \left(-1.254 + 2.254 \sqrt{1 + \frac{7.94 f'_1}{f'_c} - 2 \frac{f'_1}{f'_c}} \right) \quad (6)$$

Tegangan pengekuat lateral efektif f'_1 dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini;

$$f'_1 = \frac{1}{2} K_e \rho_s f_{yh} \quad (7)$$

Dengan konfigurasi Sengkang yang berbeda-beda maka akan menghasilkan nilai efektifitas yang berbeda pula maka;

$$K_e = \frac{A_e}{A_{cc}} \quad (8)$$

Karena dalam analisis kolom tulang bertulang menggunakan pengekanan berbentuk persegi maka;

$$K_e = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right)}{(1 - \rho_{cc})} \quad (9)$$

Kemudian regangan ultimate ϵ_{cu} dianggap terjadi setelah kegagalan sengkang. Sehingga dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\epsilon_{cu} = 0.004 + 1.4 \rho_s f_{yh} \epsilon_{sm} / f'_{cc} \quad (10)$$

1.3.4 Software XTRACT

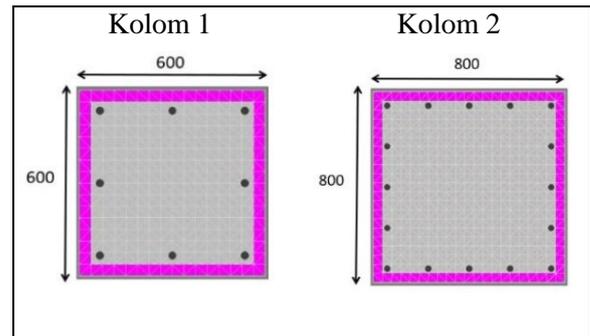
Software XTRACT sebelumnya bernama UCFyber dibuat oleh Dr. Charles Chadwell dan digunakan sebagai alat akademik dan penelitian di University of California di Berkeley. Pada masa awal, UCFyber adalah program berbasis Microsoft Windows interaktif pertama yang melakukan analisis kelengkungan momen untuk memperkuat penampang beton. Program ini memiliki kemampuan untuk melakukan analisis penampang yang realistis dengan menggabungkan efek peningkatan kekuatan dan keuletan beton terkekang serta perilaku baja nonlinier dalam lingkungan grafis. Sementara *software XTRACT* telah menjadi instrumen telah berkembang menjadi alat untuk analisis dan desain sistem beton di seluruh Dunia.

2. METODE

Dalam penelitian ini penulis menggunakan bantuan *software XTRACT* untuk menganalisis daktilitas kurvatur kolom. Sedangkan efek pengekanan pada kolom dianalisis sesuai dengan perumusan oleh Mender, Priestley, dan Park 1988. Untuk pengukuran daktilitas menggunakan bantuan *software XTRACT*. Terdapat 3 material yang ada dalam *software XTRACT* diantaranya:

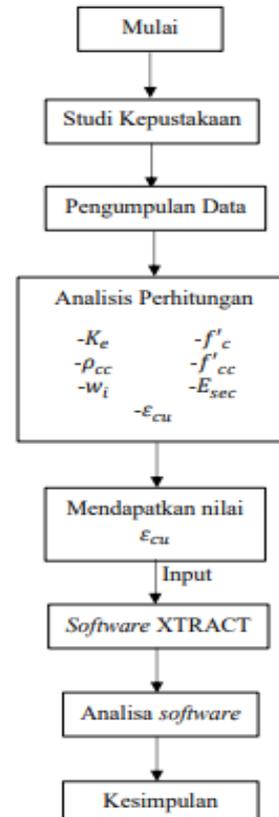
1. Warna merah muda yaitu menunjukkan selimut beton diinterpretasikan sebagai beton tidak terkekang.
2. Warna abu abu menunjukkan inti beton diinterpretasikan sebagai beton terkekang.
3. Warna hitam menunjukkan tulangan baja.

Berikut merupakan gambar kolom 1 dan kolom 2 sesuai yang terdapat pada *software XTRACT*.



Gambar 3. Kolom 1 dan Kolom 2

Berikut merupakan diagram alir pelaksanaan penelitian.

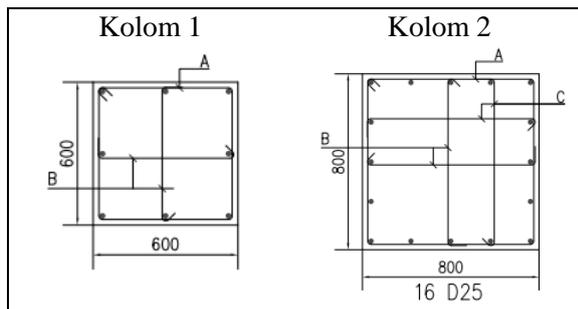


Gambar 4. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data yang diperlukan

Data yang penulis gunakan didapat dari *shopdrawing* Proyek Pembangunan MRT Hub Dukuh Atas, Tangerang, Jakarta Pusat. Terdapat 2 jenis kolom dengan distribusi tulangan transversal dan longitudinal yang berbeda beda. Untuk detail gambar kolom dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Detail Kolom 1 dan Kolom 2

Sumber: *Shopdrawing* Proyek

3.1.1 Kolom 1

Data data yang dipergunakan:

$$b = 600 \text{ mm}$$

$$h = 600 \text{ mm}$$

$$f'c = 30 \text{ MPa}$$

$$fy = 420 \text{ MPa}$$

$$fyh = 420 \text{ MPa}$$

$$Ag = 360000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter Sengkang} = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 25 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{cu}(\text{confident}) = 0,003$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$Es = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Selimut} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Sengkang} = 100 \text{ mm}$$

$$At = 8 (0,25 \times \pi \times 25^2)$$

$$= 3926,99 \text{ mm}^2$$

3.1.2 Kolom 2

Data data yang dipergunakan:

$$b = 800 \text{ mm}$$

$$h = 800 \text{ mm}$$

$$f'c = 30 \text{ MPa}$$

$$fy = 420 \text{ MPa}$$

$$fyh = 420 \text{ MPa}$$

$$Ag = 360000 \text{ mm}^2$$

$$\text{Diameter Sengkang} = 14 \text{ mm}$$

$$\text{Diameter tulangan utama} = 25 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{cu}(\text{confident}) = 0,003$$

$$\beta_1 = 0,85$$

$$Es = 200000 \text{ MPa}$$

$$\text{Selimut} = 40 \text{ mm}$$

$$\text{Spasi Sengkang} = 100 \text{ mm}$$

$$At = 16 (0,25 \times \pi \times 25^2)$$

$$= 7853,98 \text{ mm}^2$$

3.2 Analisa Perhitungan Sesuai dengan Perumusan Oleh Mender, Priestley, Dan Park 1988

3.2.1 Kolom 1

1. Menghitung Ke

a. Menghitung lebar efektif, bc dan dc:

$$bc = b - 2 \times \text{selimut} - \text{diameter sengkang}$$

$$= 600 - 2 \times 40 - 14$$

$$= 506 \text{ mm}$$

$$dc = b - 2 \times \text{selimut} - \text{diameter Sengkang}$$

$$= 600 - 2 \times 40 - 14$$

$$= 506 \text{ mm}$$

Luas inti beton terkekang:

$$A_{cc} = bc \times dc$$

$$= 506 \times 506$$

$$= 256036 \text{ mm}^2$$

b. Menghitung ρ_{cc}

$$\rho_{cc} = \frac{A_t}{A_{cc}} = \frac{3926,99}{256036} = 0,01533$$

c. Menghitung w_i

$$w_i = b - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{dia. sengkang} - 2 \times \text{dia. utama}$$

$$w_i = 600 - 2 \times 40 - 2 \times 14 - 2 \times 25 = 442 \text{ mm}$$

d. Menghitung Ke

$$Ke = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6b_c d'_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d'_c}\right)}{(1 - \rho_{cc})}$$

$$= \frac{\left(1 - 4 \frac{(442)^2}{6 \cdot 506 \cdot 506}\right) \left(1 - \frac{100}{2 \cdot 506}\right) \left(1 - \frac{100}{2 \cdot 506}\right)}{(1 - 0,01533)}$$

$$= 0,17646$$

2. Menghitung tegangan pengekangan efektif, f_i'

a. Menghitung ρ_s

$$V_c = A_{cc} \times s = 256036 \times 100$$

$$= 25603600 \text{ mm}^3$$

$$V_s = (A_{sh} \times 2 \times (b_c + d_c))_+ (A_{sh} \times (b_c + d_c))$$

$$= \left(\frac{1}{4} \times \pi \times 14^2 \times 2 \times (506 + 506)\right)$$

$$\begin{aligned} & + \frac{1}{4} \times \pi \times 14^2 \times (506 + 506) \\ & = 467356 \text{ mm}^3 \\ \rho_s & = \frac{V_s}{V_c} = \frac{311570,59}{25603600} = 0,01825 \end{aligned}$$

b. Menghitung f'_i

$$\begin{aligned} f'_{i=2} & = \frac{1}{2} K_e \rho_s f_{yh} = \frac{1}{2} 0,1764 \cdot 0,01825 \cdot 420 \\ & = 0,6764 \text{ MPa} \end{aligned}$$

c. Menghitung tegangan puncak f'_{cc}

$$f'_{cc} = f'_c \left(-1,2254 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 f'_i}{f'_c}} - 2 \frac{f'_i}{f'_c} \right)$$

)

$$= 30 \left(-1,2254 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 \cdot 0,6764}{30}} \right)$$

$$- 2 \frac{0,6764}{30}$$

$$= 34,45 \text{ MPa}$$

3. Menghitung r

a. Menghitung E_c dan E_{sec}

$$E_c = 5000 \sqrt{f'_c} = 5000 \sqrt{30} = 27386,128 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_c \left(1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right)$$

$$= 0,002 \left(1 + 5 \left(\frac{34,45}{30} - 1 \right) \right) = 0,00348$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} = \frac{34,45}{0,00348} = 9889,41 \text{ MPa}$$

b. Menghitung r

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} = \frac{27386,128}{27386,128 - 9889,41} = 1,56522$$

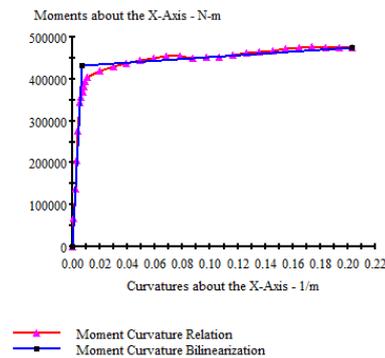
c. Menghitung ε_{cu}

$$\varepsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4 \rho_s f_{yh} \varepsilon_{sm}}{f'_{cc}}$$

$$= 0,004 + \frac{1,4 \cdot 0,01825 \cdot 0,12}{34,45} = 0,04139$$

Dari analisa perhitungan diatas didapat kuat tekan bertambah dari 30 MPa menjadi 34,45 MPa. Kemudian dari Analisa perhitungan yang sudah dilakukan didapat regangan ultimate kolom terkekang sebesar 0,04139 yang selanjutnya diinputkan pada *software* XTRACT agar dapat dianalisis nilai dakatilitas dari kolom

1. Hasil analisis dari *software* XTRACT dapat dilihat pada gambar grafik momen kurvatur kolom 1 dibawah ini.



Gambar 6. Grafik momen kurvatur kolom 1

Dari analisa *software* XTRACT didapat nilai kurvatu ultimate (φ_u) yang dapat dilihat pada grafik yaitu sebesar 0,2032 rad/m dan nilai kurvatur leleh pertama (φ_y) sebesar 0,0066 rad/m sehingga akan menghasilkan daktilitas kolom (μ_φ) sebesar 30,76. Daktilitas didapat dari kurvatur ultimate (φ_u) dibagi dengan kurvatur leleh pertama (φ_y). Sesuai dengan SNI 1726:2019 kolom 1 memenuhi daktilitas kurvatur kolom karena $30,76 \geq 16$.

3.2.2 Kolom 2

1. Menghitung K_e

a. Menghitung lebar efektif, bc dan dc:

$$bc = b - 2 \times \text{selimut-diameter sengkang}$$

$$= 800 - 2 \times 40 - 14$$

$$= 706 \text{ mm}$$

$$dc = b - 2 \times \text{selimut-diameter Sengkang}$$

$$= 800 - 2 \times 40 - 14$$

$$= 706 \text{ mm}$$

Luas inti beton terkekang:

$$A_{cc} = bc \times dc$$

$$= 506 \times 506$$

$$= 498436 \text{ mm}^2$$

b. Menghitung ρ_{cc}

$$\rho_{cc} = \frac{A_t}{A_{cc}} = \frac{7853,98}{498536} = 0,01576$$

c. Menghitung w_i

$$w_i = b - 2 \times \text{selimut} - 2 \times \text{dia.sengkang} - 2 \times \text{dia.utama}$$

$$w_i = 800 - 2 \times 40 - 2 \times 14 - 2 \times 25 = 642 \text{ mm}$$

d. Menghitung K_e

$$Ke = \frac{\left(1 - \sum_{i=1}^n \frac{(w'_i)^2}{6b_c d_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2b_c}\right) \left(1 - \frac{s'}{2d_c}\right)}{(1 - \rho_{cc})}$$

$$= \frac{\left(1 - 4 \frac{(642)^2}{6.706.706}\right) \left(1 - \frac{100}{2.706}\right) \left(1 - \frac{100}{2.706}\right)}{(1 - 0,01576)}$$

$$= 0,04885$$

2. Menghitung tegangan pengeangan efektif, f'_i

a. Menghitung ρ_s

$$V_c = A_{cc} \times s = 498436 \times 100$$

$$= 49843600 \text{ mm}^3$$

$$V_s = 2(A_{sh} \times 2 \times (b_c + d_c))$$

$$= 2\left(\frac{1}{4} \times \pi \times 14^2 \times 2 \times (706 + 706)\right)$$

$$= 869442 \text{ mm}^3$$

$$\rho_s = \frac{V_s}{V_c} = \frac{869442}{49843600} = 0,01744$$

d. Menghitung f'_i

$$f'_{i=2} = \frac{1}{2} K_e \rho_s f_{yh} = \frac{1}{2} 0,04885 \cdot 0,01744 \cdot 420$$

$$= 0,17896 \text{ MPa}$$

e. Menghitung tegangan puncak f'_{cc}

$$f'_{cc} = f'_c \left(-1,2254 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 f'_i}{f'_c}} - 2 \frac{f'_i}{f'_c} \right)$$

$$= 30 \left(-1,2254 + 2,254 \sqrt{1 + \frac{7,94 \cdot 0,17896}{30}} - 2 \frac{0,17896}{30} \right)$$

$$= 31,22 \text{ MPa}$$

3. Menghitung r

a. Menghitung E_c dan E_{sec}

$$E_c = 5000 \sqrt{f'_c} = 5000 \sqrt{30} = 27386,128 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_{cc} = \varepsilon_{cc} \left(1 + 5 \left(\frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right)$$

$$= 0,002 \left(1 + 5 \left(\frac{31,22}{30} - 1 \right) \right) = 0,00241$$

$$E_{sec} = \frac{f'_{cc}}{\varepsilon_{cc}} = \frac{31,22}{0,00241} = 12965,4 \text{ MPa}$$

b. Menghitung r

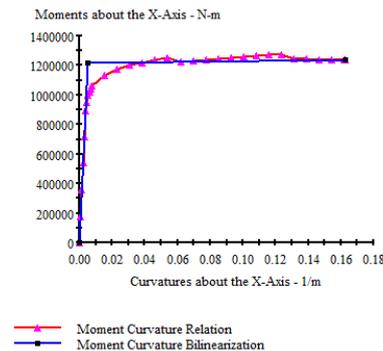
$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}} = \frac{27386,128}{27386,128 - 12965,4} = 1,8990$$

c. Menghitung ε_{cu}

$$\varepsilon_{cu} = 0,004 + \frac{1,4 \rho_s f_{yh} \varepsilon_{sm}}{f'_{cc}}$$

$$= 0,004 + \frac{1,4 \cdot 0,01744 \cdot 0,12}{31,22} = 0,0434$$

Dari analisa perhitungan diatas didapat kuat tekan bertambah dari 30 MPa menjadi 31,22 MPa. Kemudian dari Analisa perhitungan yang sudah dilakukan didapat regangan ultimate kolom terkekang sebesar 0,0434 yang selanjutnya diinputkan pada *software* XTRACT agar dapat dianalisis nilai daktilitas dari kolom 2. Hasil analisis dari *software* XTRACT dapat dilihat pada gambar grafik momen kurvatur kolom 2 dibawah ini.



Gambar 7. Grafik momen kurvatur kolom 2

Dari analisa *software* XTRACT didapat nilai kurvatur ultimate (ρ_u) yang dapat dilihat pada grafik yaitu sebesar 0,1624 rad/m dan nilai kurvatur leleh pertama (ρ_y) sebesar 0,0052 rad/m sehingga akan menghasilkan daktilitas kolom (μ_ϕ) sebesar 31,17. Daktilitas didapat dari kurvatur ultimate (ρ_u) dibagi dengan kurvatur leleh pertama (ρ_y). Sesuai dengan SNI 1726:2019 kolom 2 memenuhi daktilitas kurvatur kolom karena $31,17 \geq 16$.

4. KESIMPULAN

Dari analisa yang sudah dilakukan dapat ditarik kesimpulan:

1. Pemberian Sengkang atau tulangan transversal pada kolom dapat meningkatkan kuat tekan pada kolom 1 sebesar 14,833% yaitu 30 MPa meningkat menjadi 34,45 MPa, sedangkan kolom 2 sebesar 4,067% yaitu 30 MPa meningkat menjadi 31,22 MPa.
2. Dari analisis yang sudah dilakukan kolom 1 memiliki nilai daktilitas 30,76 dan kolom 2 memiliki nilai daktilitas 31,17. Kedua nilai daktilitas tersebut sudah memenuhi daktilitas suatu penampang karena pada SNI 1726:2019 daktilitas suatu penampang harus lebih besar sama dengan 16.
3. Luas tulangan longitudinal berpengaruh pada nilai daktilitas suatu penampang, ketika luas tulangan longitudinal semakin besar maka nilai daktilitas penampang semakin besar seperti pada kolom 2 memiliki nilai daktilitas lebih besar dibandingkan kolom 1.
4. Besar kapasitas momen maksimum berbanding lurus dengan luas tulangan longitudinal, mutu tulangan longitudinal dan mutu beton.

DAFTAR PUSTAKA

- Anang Kristianto, 2020, Studi Parametrik Pengaruh Konfigurasi Tulangan Longitudinal dan Transversal pada Efektifitas Pengekangan Kolom Persegi Beton Bertulang Menggunakan XTRACT, *Jurnal Permukiman*, 15(2), 73-83.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *SNI 2847-2002 Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional:Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2002, *SNI 1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Gedung*, Badan Standarisasi Nasional:Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional, 2019, *SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*, Badan Standarisasi Nasional:Jakarta.
- Dewi.P. Abdi H, 2019, Pengaruh Rasio Tulangan pada Balok Ditinjau dari Kurvatur Daktilitas dengan Mutu Baja Fy 400 MPa, *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan VII 2019*, Surabaya.
- Edward G, Nawy, 1998, *Beton Bertulang, suatu pendekatan Dasar*, Diterjemahkan oleh: Bambang Suryoatmono, Refika Aditama:Bandung.
- Mahmud, Fathmah, 2016, Analisa Daktilitas Kolom Akibat Pengekangan Metode Mender, *Spektrum Sipil ISSN 1858-4896*, 3(2), 177-188.
- Mander, J.B., Priestley, M.J.N. and Park, R, 1988, Theoretical stress-strain model for confined concrete, *Journal of Structural Engineering ASCE*; 114(8), 1804-26.
- Nurlina, Siti, 2016, Perbandingan Daktilitas Balok Beton Bertulang dengan Menggunakan Perkuatan CRFP dan GFRP, *Rekayasa Sipil*. 10(1). 62-69.
- Park, R., Paulay, T.,(1975), *Reinforced Concrete Structur*, New York.
- Partogi H. Simatupang, 2018, Pengaruh Variasi Perhitungan Tegangan dan Regangan Kolom Beton Bertulang Terhadap Daktilitas Penampang Terkekang, *Jurnal Teknik Sipil*.7(1). 45-56.
- Stefan, Theophilus, dkk, 2016, *Pengaruh Rasio Tulangan Logitudinal Dan Jarak Sengkang Terhadap Kapasitas Beban Lateral Maksimum Kolom Bertulangan Ringan Akibat Beban Siklik*, Fakultas Teknik, Teknik Sipil, Universitas Brawijaya.
- Sudarsana.IK, 2010, Analisis Pengaruh Konfigurasi Tulangan Terhadap Kekuatan dan Daktilitas Kolom Beton Bertulang. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1),57-68.
- Sufaat. Muchtar, 2015, Studi Eksperimental Pengaruh Konfigurasi Sengkang Pada Daerah Tekan Balok Beton Serat Bertulang, *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 353-361.
- Tavio. Pamenia. PD, 2009, Pengaruh Pengekangan pada Analisis Momen Nominal untuk Pengaman Kolom Beton Bertulang terhadap Kegagalan Getas Geser, *Dinamika TEKNIK SIPIL*, 9(2), 155-162.