



Perilaku Rasio Tinggi Balok Kantilever Nonprismatis Beton Bertulang

¹I Putu Laintarawan, ²Ni Putu Silvi

¹Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hindu Indonesia

²Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ngurah Rai

*Corresponding author: silvi@unr.ac.id

Abstract

Cantilever beam structures are part of civil building structures that are efficient in supporting loads without requiring additional structures. The reasons for using cantilever beams are to reduce weight so costs are reduced, provide beauty, increase structural rigidity and reduce deformation for structural stability and performance. The research method used is a quantitative research method using material data, geometry and cross-section of structural components. Model and analysis using SAP2000 software. In this research, 5 models of reinforced concrete nonprismatic beams were made, consisting of 1 model with a ratio of the end beam (h_1) and the height of the base beam (h_2) $h_1/h_2 = 1/1$ and 4 models (model 2, model 3, model 4, model 5) h_1/h_2 respectively $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$. The dimensions of the beam are 450 mm wide and 1000 mm high with a beam length of 4000 mm. The beam is modeled as a shell element with rectangular and triangular element models. The position of the base of the cantilever structure is fully clamped. The analysis results show that the smaller the ratio h_1/h_2 , the deflection increases and the maximum principal stress and strain decreases in the end area and increases in the middle area. In field implementation, it is recommended to use non-prismatic cantilever beams to reduce costs and aesthetic considerations.

Keywords: behavior, ratio, nonprismatic, cantilever beam, reinforced concrete

Abstrak

Struktur balok kantilever merupakan bagian dari struktur bangunan sipil yang memiliki sifat efisien dalam menahan beban tanpa memerlukan struktur tambahan. Alasan penggunaan balok kantilever adalah mengurangi berat sehingga biaya berkurang, memberikan keindahan, meningkatkan kekakuan struktur dan mereduksi deformasi untuk stabilitas dan kinerja struktur. Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian kuantitatif menggunakan data material, geometri dan penampang komponen struktur. Model dan analisis menggunakan software SAP2000. Dalam penelitian ini dibuat 5 buah model balok nonprismatis beton bertulang yaitu 1 buah model dengan rasio tinggi balok ujung (h_1) dan tinggi balok pangkal (h_2) $h_1/h_2 = 1/1$ dan 4 buah model (model 2, model 3, model 4, model 5) h_1/h_2 masing-masing $1/2$, $1/3$, $1/4$, $1/5$. Dimensi balok adalah lebar 450 mm dan tinggi 1000 mm dengan panjang balok 4000 mm. Balok dimodel sebagai elemen shell dengan model elemen segiempat dan segitiga. Perletakan pangkal struktur kantilever adalah terjepit penuh. Hasil analisis menunjukkan bahwa semakin kecil rasio h_1/h_2 , maka lendutan meningkat dan menurunnya tegangan dan regangan utama maksimum pada daerah pangkal dan meningkat pada daerah tengah. Dalam pelaksanaan di lapangan, direkomendasikan menggunakan balok kantilever nonprismatis untuk mengurangi biaya dan pertimbangan estetika.

Kata kunci: perilaku, rasio, nonprismatis, balok kantilever, beton bertulang

1. Pendahuluan

Struktur balok kantilever merupakan struktur balok satu ujung terjepit penuh sementara ujung lainnya bebas. Balok ini diaplikasikan pada

bangunan konstruksi karena efisien dalam menahan beban tanpa memerlukan struktur tambahan. Balok kantilever beton bertulang memiliki kinerja struktur dalam menahan beban

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 13-04-2024 | Selesai Revisi : 19-07-2024 | Diterbitkan Online : 27-10-2024

statis dan dinamis. Alasan penggunaan balok kantilever adalah kinerja struktural, fleksibilitas desain, durabilitas dan efisiensi biaya. Di sisi lain kekuatan struktur balok kantilever harus dipertimbangkan untuk mencegah lendutan tidak melebihi lendutan ijin. Balok kantilever umumnya memiliki bentuk prismatis dan nonprismatis. Penampang balok prismatis memiliki dimensi yang sama ujung satu dan ujung lainnya. Penampang balok nonprismatis memiliki dimensi penampang ujung satu dan ujung lainnya berbeda. Parameter yang mempengaruhi lendutan balok kantilever adalah beban, kekakuan balok dan jenis tumpuan [1]. Balok kantilever nonprismatis beton bertulang memiliki keunggulan dibanding balok kantilever prismatis dari segi optimasi struktural, reduksi berat, estetika, kekuatan, reduksi deformasi dan fleksibilitas desain. Optimasi struktural berhubungan dengan perubahan distribusi beban yang berubah-ubah. Balok kantilever nonprismatis dapat mengurangi berat dibanding balok prismatis sehingga biaya berkurang, secara arsitektur memberikan keindahan bentuk secara visual dan estetika menjadi menarik, dapat meningkatkan kekakuan struktur, dapat mereduksi deformasi dalam menjaga stabilitas dan kinerja struktural serta dapat menghasilkan desain inovatif sesuai kebutuhan. Beberapa penelitian sebelumnya tentang balok kantilever beton bertulang telah diteliti diantaranya oleh: Yehia (2024), Trimurtinungrum (2020), Palungan (2021), Maulana (2018), Majumder (2016), Hodzic (2022), Christopher (2022), Chaphalkar (2015) dan Adavardkar (2021).

Yehia (2024) melakukan penelitian tentang evaluasi kinerja struktur balok baja *cold-formed* kantilever dengan pola perforasi yang

bervariasi. Metode analisis menggunakan bantuan software ABAQUS. Hasil penelitian balok kantilever baja *cold-formed* menghasilkan kapasitas kemampuan menahan beban yang cukup besar sebesar 185,4 KN melebihi kapasitas balok RC dengan tumpuan sederhana (119 KN) dan balok prismatis (165 KN) [2].

Trimurtinungrum (2020) meneliti kinerja struktur bangunan gedung beton bertulang dengan struktur kantilever bentang panjang metode *pushover*. Hasil penelitian menghasilkan simpangan arah x dan y masing-masing adalah 50,544 mm dan 39,956 mm lebih kecil dari simpangan ijin sesuai SNI 03-1726-2019 [3]. Level kinerja yang dihasilkan termasuk level immediate occupancy yaitu kerusakan struktural dan gedung dapat dipakai sesuai dengan fungsinya [4].

Palungan (2021) melakukan analisis balok kantilever beton bertulang dengan beban tidak terbagi rata. Metode yang digunakan adalah metode pengujian di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan beban sama (24 N/m) menghasilkan putaran sudut material baja ($0,17^\circ$) lebih kecil dari putaran sudut tembaga ($0,37^\circ$), karena modulus elastisitas baja 200 GPa lebih besar modulus elastisitas tembaga 90 GPa dan lendutan material tembaga adalah 5,23 mm lebih besar dari lendutan material baja adalah sebesar 2,35 mm [5].

Maulana (2018) melakukan analisis tegangan dan deformasi balok *castellated* kantilever nonprismatis menggunakan metode numerik. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis tegangan dan deformasi balok kastela dengan variasi diameter bukaan, jarak antar lubang, dan sudut bukaan heksagonal dengan beban statis.

Penelitian ini menggunakan IWF 150x75x5x7

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 13-04-2024 | Selesai Revisi : 19-07-2024 | Diterbitkan Online : 27-10-2024

dengan 4 variasi bentang dengan satu tumpuan tetap dan f_y 400 MPa. Analisis elemen hingga linier digunakan pada elemen padat tetrahedron 10 titik simpul, dengan memperhatikan tegangan von Mises. Software yang digunakan untuk analisis adalah LISAFEA 8.0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tegangan dan deformasi tiap sampel cukup fluktuatif, namun distribusi tegangan di sekitar bukaan lebih besar dibandingkan pada badan dan sayap [1].

Majumder (2016) melakukan analisis tegangan dan lendutan balok kantilever dan validasinya menggunakan ANSYS. Balok dimodelkan dengan kondisi yaitu beban terpusat vertikal pada ujung bebas, beban terdistribusi merata, dan beban merata bervariasi. Hasil analisis menghasilkan perbandingan solusi komputasi dan analitis ditemukan bahwa untuk tegangan elemen 8 titik node memberikan hasil paling konsisten dan variasi dengan hasil analisis minimal [6].

Hodzic (2022) melakukan penelitian analisis lentur balok kantilever dengan *finite element*. Penelitian ini menyajikan balok kantilever dengan parameter dianalisis menggunakan metode elemen hingga dan menggunakan perangkat lunak. Perbandingan hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa hasilnya sama pada tumpuan balok kantilever. Metode elemen hingga merupakan metode yang efisien dimana parameter struktur dapat ditentukan. Hasil yang diperoleh dengan metode ini memiliki akurasi yang tinggi dan dapat diandalkan dalam analisis dan perhitungan struktur [7].

Christopher (2022) menganalisis perilaku pelat kantilever beton bertulang dengan model bukaan dianalisis menggunakan metode elemen hingga. Bukaan pada pelat dapat

memperlemah kekuatan pelat dikarenakan terputusnya tulangan baja dan beton pada area bukaan. Analisis menggunakan program MIDAS FEA. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengevaluasi pengaruh bukaan terhadap perilaku pelat kantilever beton bertulang. Ada 7 model pelat tanpa bukaan dan dengan bukaan. Hasil analisis menghasilkan semakin dekat dan besar ukuran bukaan dengan tumpuan, maka semakin kecil kekakuan dan kapasitas beban maksimum. Tegangan pelat kantilever dengan bukaan meningkatkan tegangan dua kali dibanding pelat kantilever tanpa bukaan dan tegangan terkonsentrasi pada daerah bukaan. Hasil antara metode numerik dengan metode eksperimental memberikan hasil dengan kecenderungan sama dan nilai retak pertama sebesar 38,8% [8].

Chaphalkar (2015) menganalisis modal struktur balok kantilever menggunakan analisis elemen hingga dan eksperimental. Pendekatan numerik menggunakan ANSYS. Persentase kesalahan antara pendekatan numerik (FEA) dan pendekatan eksperimental antara 5% - 7%. Nilai hasil numerik (FEA) sama dengan nilai eksperimen [9].

Adavardkar (2021) menganalisis modal balok kantilever menggunakan metode analitik dan elemen hingga. Hasil yang diperoleh dari metode analisis dan ANSYS hampir sama. Error maksimum yang ditemukan sebesar 0,14% untuk mode ketiga sedangkan *error* minimum sebesar 0,018% untuk mode pertama. Hasil penelitian menunjukkan nilai menggunakan pendekatan analitis dan pendekatan numerik tidak terlalu bervariasi [10].

Berdasarkan uraian di atas, maka dalam penelitian ini akan menganalisis perilaku rasio

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 13-04-2024 | Selesai Revisi : 19-07-2024 | Diterbitkan Online : 27-10-2024

tinggi balok kantilever nonprismatis beton bertulang.

Penelitian ini merujuk beberapa variabel antara lain: jenis dinding penahan tanah balok kantilever nonprismatis, beban-beban yang bekerja, *software* dan kondisi batas. Namun untuk rasio tinggi ujung dan pangkal masih merupakan original penelitian ini.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif menggunakan data properties material, geometri struktur dan dimensi komponen struktur. Model dan analisis menggunakan bantuan *software* SAP2000 V23. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material beton bertulang. Material baja tulangan yang digunakan sesuai Persyaratan dalam SNI 2052:2017 (Baja Tulangan Beton) [11] dan properties material beton sesuai SNI 2847:2019 (Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan) [12]. Adapun properties material beton bertulang adalah sebagai berikut:

a. Beton

Mutu beton = 21 MPa

Modulus elastisitas beton = $4700 \sqrt{f'_c}$ MPa

Poisson Ratio = 0.2

b. Tulangan Utama

Kuat leleh minimum = 420 MPa (BjTS 420)

Kuat tarik minimum = 525 MPa

Peregangan = 9%

c. Tulangan Senggang

Kuat leleh minimum = 280 MPa (BjTP 280)

Kuat tarik minimum = 380 MPa

Peregangan = 11%

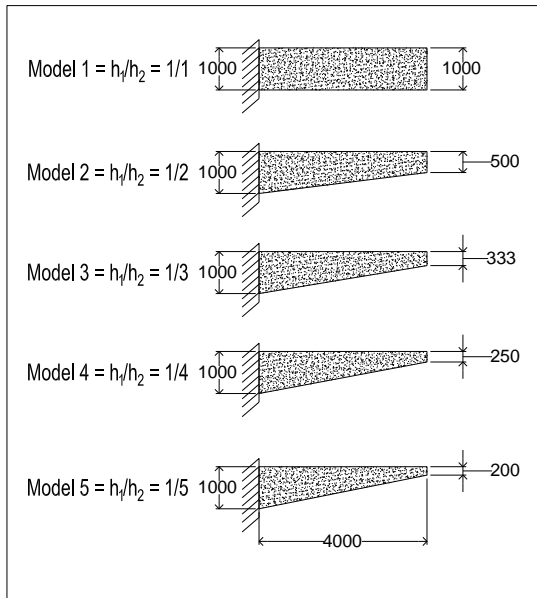
Dalam penelitian ini telah dibuat 5 buah model yang terdiri dari 1 buah model balok kantilever prismatis beton bertulang dengan rasio tinggi balok ujung dan tinggi balok pangkal 1/1 dan 4 buah model balok kantilever nonprismatis beton bertulang dengan variasi rasio nonprismatis tinggi balok ujung dan tinggi balok pangkal dengan rasio 1/2, 1/3, 1/4, 1/5. Dimensi balok adalah lebar 450 mm dan tinggi 1000 mm dengan panjang balok 4000 mm. Balok dimodel sebagai elemen *shell*. Perletakan pangkal struktur kantilever adalah terjepit penuh. Model tersebut disajikan pada Gambar 1. Dimana h_1 adalah tinggi balok ujung. h_2 adalah tinggi balok pangkal.

Beban-beban yang diperhitungkan adalah beban mati akibat berat sendiri, beban mati tambahan dan beban hidup. Beban mati berat sendiri dihitung langsung oleh *software* SAP2000, beban mati tambahan dengan asumsi jarak antar balok kantilever adalah 5m dengan tebal pelat 120 mm adalah sebesar $(0.12 \times 2400 \text{ kg/m}^3 \times 2.5 \text{ m}) + (150 \text{ kg/m}^2 \times 2.5) = 1095 \text{ kg/m}$. Beban hidup sebesar $250 \text{ kg/m}^2 \times 2.5 \text{ m} = 625 \text{ kg/m}^2$. Kombinasi beban yang diperhitungkan adalah $U1 = 1.2D + 1.6L$.

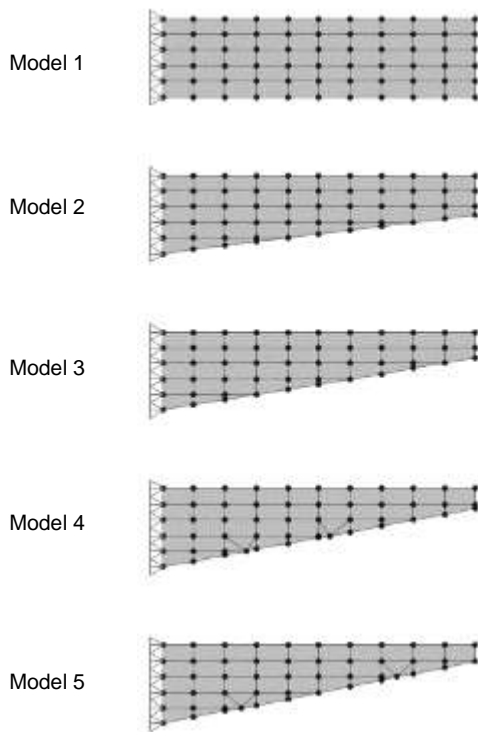
Gambar 2 adalah model elemen hingga balok kantilever menggunakan SAP2000. Elemen balok dimodel sebagai *shell element 2D* dengan mendefinisikan tebal *shell* sesuai dengan ketebalan balok kantilever. Bentuk elemen *shell* menggunakan elemen segiempat dan segitiga. Gambar 3 dan 4 masing-masing adalah beban mati tambahan dan beban hidup pada struktur balok kantilever dimana semua model dibebani beban yang sama.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 13-04-2024 | Selesai Revisi : 19-07-2024 | Diterbitkan Online : 27-10-2024

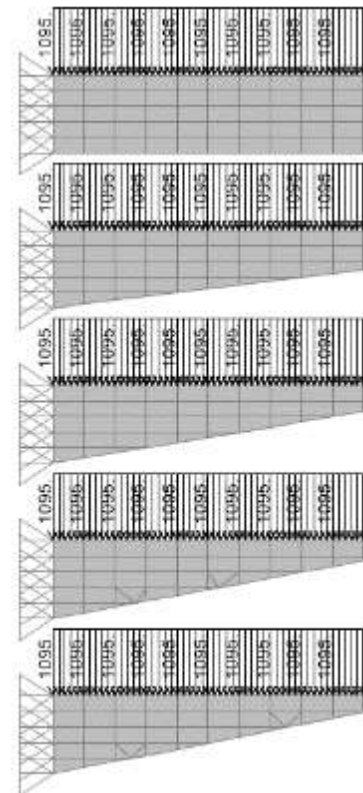


Gambar 1. Model struktur balok kantilever

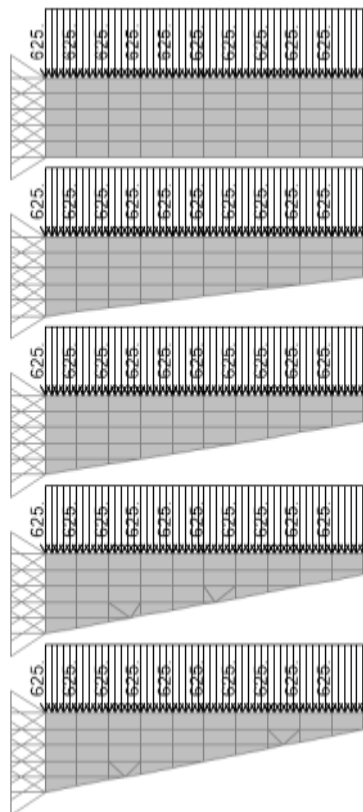


Gambar 2. Model elemen hingga balok kantilever

Gambar 2 ini menggambarkan diskretisasi elemen hingga, dimana model 1 menggunakan elemen segiempat sedangkan model 2 sampai model 5 menggunakan kombinasi elemen segiempat dan segitiga.



Gambar 3. Beban mati tambahan (kg/m)



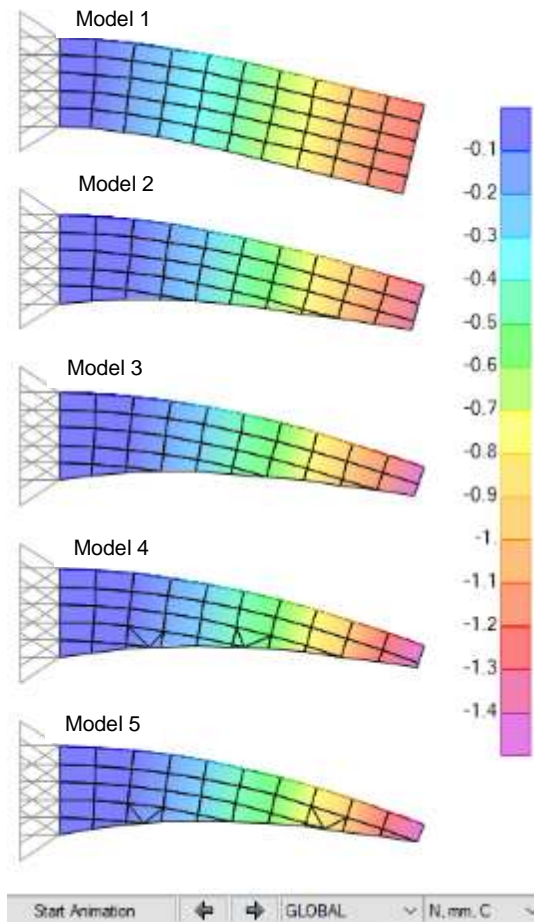
Gambar 4. Beban hidup (kg/m)

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 13-04-2024 | Selesai Revisi : 19-07-2024 | Diterbitkan Online : 27-10-2024

3. Hasil dan Pembahasan

Analisis menggunakan *software* SAP2000 dengan model dan pembebanan seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4.



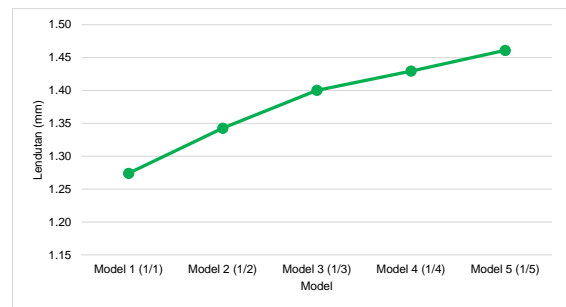
Gambar 5. Kontur deformasi Uz akibat kombinasi beban $U1 = 1.2D + 1.6L$ (mm)

Gambar 5 adalah kontur deformasi akibat beban kombinasi $U1 = 1.2D + 1.6L$. Hasil analisis menunjukkan bahwa deformasi ke arah Uz (lendutan) semakin meningkat seiring menurunnya rasio tinggi (h_1/h_2) balok kantilever nonprismatis.

Berdasarkan hasil analisis (Gambar 6) lendutan maksimum pada daerah ujung balok serat atas untuk model 1, model 2, model 3, model 4 dan model 5 masing-masing sebesar 1.274 mm, 1.3426 mm, 1.4002 mm, 1.4294 mm dan

1.4609 mm. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya [4].

Prosentase peningkatan lendutan model dengan rasio tinggi balok kantilever nonprismatis (h_1/h_2) 1/2, 1/3, 1/4 dan 1/5 masing-masing sebesar 5.38%, 9.91%, 12.20% dan 14.67% terhadap model 1 (balok prismatis) seperti disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Lendutan balok kantilever (posisi serat atas ujung balok kantilever)

Peningkatan lendutan pada Gambar 6 disebabkan karena pengurangan volume penampang balok kantilever beton bertulang dengan beban luar sama, sehingga kekakuan struktur menjadi berkurang, kinerja struktur berkurang dan mengakibatkan kekakuan lateral menjadi berkurang. Lendutan yang terjadi lebih kecil dari lendutan ijin $L/180 = 4000/180 = 22.22$ mm, sehingga kekakuan struktur balok kantilever ini memenuhi.

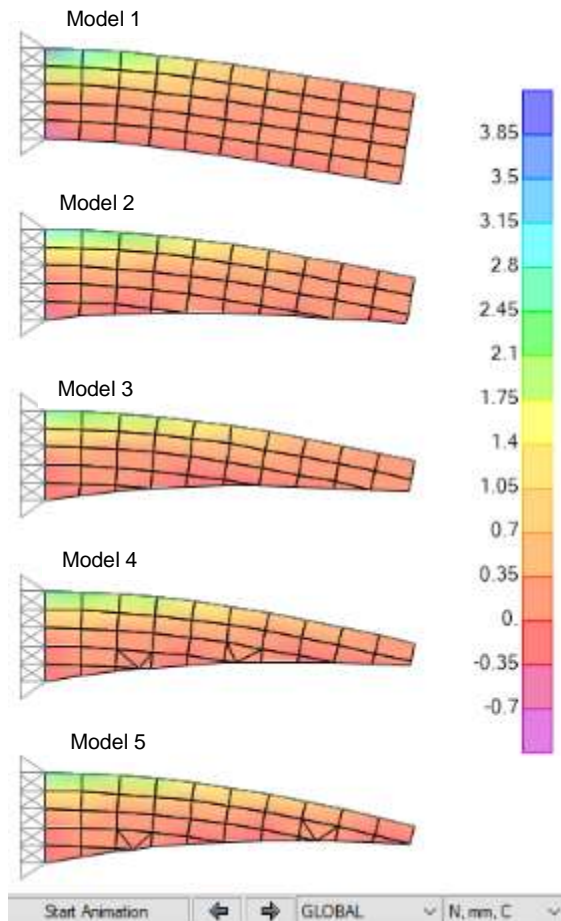
Pengurangan berat balok untuk model 2, model 3, model 4 dan model 5 masing-masing sebesar 1080 kg, 1436.4 kg, 1620 kg dan 1728 kg terhadap model 1 menyebabkan lendutan yang terjadi semakin meningkat.

Dari hasil analisis, deformasi lateral serat atas ujung balok kantilever adalah 0.2 mm adalah sama untuk semua model. Hal ini disebabkan karena balok kantilever mampu menahan dengan baik beban lateral.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 13-04-2024 | Selesai Revisi : 19-07-2024 | Diterbitkan Online : 27-10-2024

Gambar 7 adalah kontur tegangan S_{max} akibat kombinasi beban $U1 = 1.2D + 1.6L$. Terjadi sedikit tegangan tarik pada serat atas pangkal balok kantilever, namun sebagian besar terjadi tegangan tekan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya pada penelitian [7].



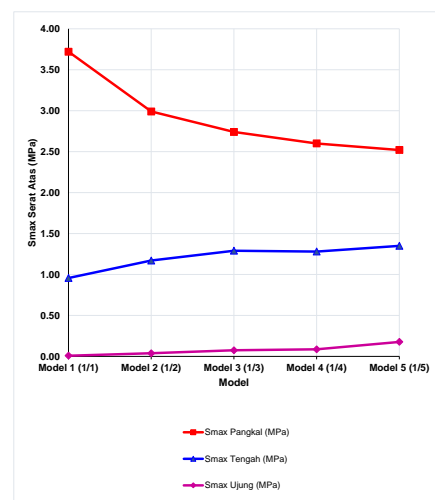
Gambar 7. Kontur tegangan S_{max} akibat kombinasi beban $U1 = 1.2D + 1.6L$ (MPa)

Hasil analisis menunjukkan bahwa tegangan S_{max} akibat kombinasi beban $U1$ pada serat atas pangkal balok kantilever semakin menurun seiring menurunnya rasio tinggi (h_1/h_2) balok kantilever nonprismatis.

Berdasarkan hasil analisis (Gambar 8) tegangan maksimum pada daerah pangkal balok serat atas untuk model 1, model 2, model 3, model 4 dan model 5 masing-masing sebesar 3.72 MPa, 2.99 MPa, 2.74 MPa, 2.60 MPa dan

2.52 MPa. Tegangan maksimum pada daerah tengah balok serat atas untuk model 1, model 2, model 3, model 4 dan model 5 masing-masing sebesar 0.96 MPa, 1.17 MPa, 1.29 MPa, 1.28 MPa dan 1.35 MPa. Sedangkan tegangan maksimum pada daerah ujung balok serat atas untuk model 1, model 2, model 3, model 4 dan model 5 masing-masing sebesar 0.0083 MPa, 0.0380 MPa, 0.0740 MPa, 0.0860 MPa dan 0.1770 MPa.

Dengan demikian, pada pangkal balok serat atas terjadi penurunan tegangan dengan prosentase penurunan tegangan S_{max} model dengan rasio tinggi balok kantilever nonprismatis (h_1/h_2) 1/2, 1/3, 1/4 dan 1/5 masing-masing sebesar 19.62%, 26.34%, 30.11% dan 32.26% terhadap model 1 (balok prismatis) seperti disajikan pada Gambar 8. Namun, pada Tengah balok serat atas tegangan S_{max} terjadi peningkatan model dengan rasio tinggi balok kantilever nonprismatis (h_1/h_2) 1/2, 1/3, 1/4 dan 1/5 masing-masing sebesar 22.26%, 34.80%, 33.75% dan 41.07% terhadap model 1 (balok prismatis) seperti disajikan pada Gambar 8.

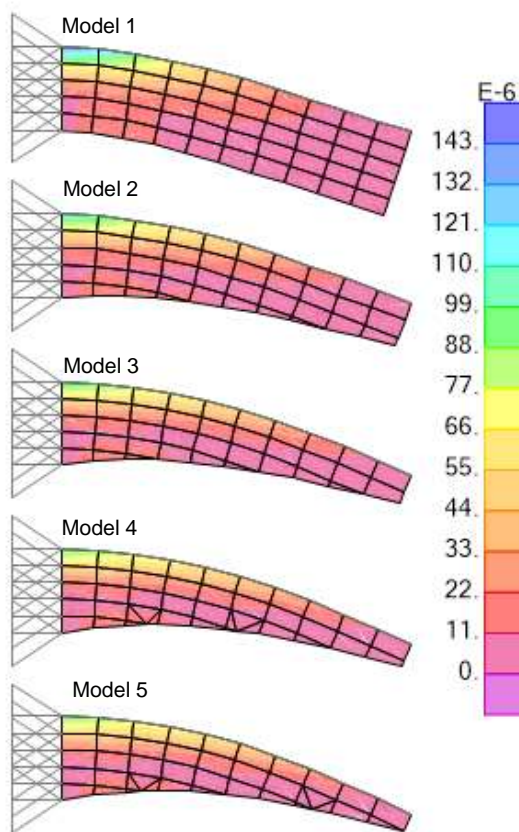


Gambar 8. Tegangan S_{max} akibat kombinasi beban $U1 = 1.2D + 1.6L$ (MPa) pada serat atas

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 13-04-2024 | Selesai Revisi : 19-07-2024 | Diterbitkan Online : 27-10-2024

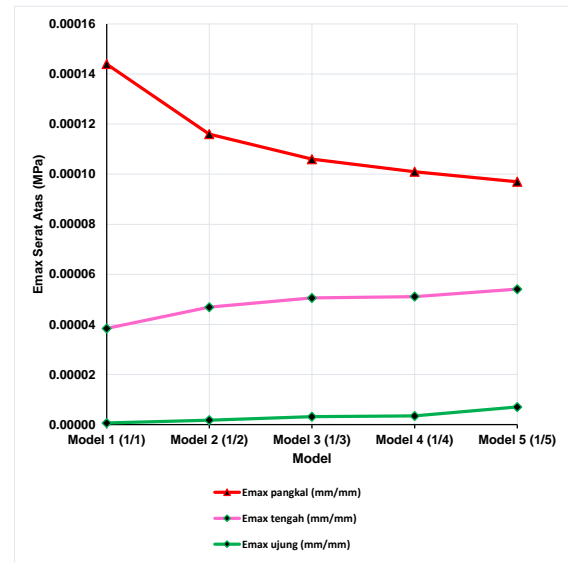
Demikian juga tegangan S_{max} pada serta atas ujung balok kantilever juga terjadi peningkatan tegangan S_{max} . Semakin menurunnya volume beton pada balok kantilever nonprismatis beton bertulang, maka tegangan S_{max} serat atas balok kantilever pada pangkal mengalami penurunan, sedangkan pada tengah dan ujung balok tegangan S_{max} semakin meningkat. Dibandingkan dengan daerah tengah dan ujung balok kantilever, pangkal kantilever adalah daerah dimana gaya dalam momen, gaya geser dan gaya normal adalah maksimum karena menerima beban maksimum.



Gambar 9. Diagram regangan E_{max} akibat kombinasi beban $U1 = 1.2D + 1.6L$ (MPa)

Gambar 9 adalah kontur regangan E_{max} akibat kombinasi beban $U1 = 1.2D + 1.6L$. Terjadi sedikit regangan tarik pada serat atas pangkal balok kantilever, namun sebagian besar terjadi

regangan tekan. Hasil analisis menunjukkan bahwa regangan E_{max} akibat kombinasi beban $U1$ pada serat atas pangkal balok kantilever semakin menurun seiring menurunnya rasio tinggi (h_1/h_2) balok kantilever nonprismatis.



Gambar 10. Kontur E_{max} akibat kombinasi beban $U1 = 1.2D + 1.6L$ (MPa) pada serat atas

Berdasarkan hasil analisis (Gambar 10) regangan maksimum pada daerah pangkal balok serat atas untuk model 1, model 2, model 3, model 4 dan model 5 masing-masing sebesar 0.000144 mm/mm, 0.000116 mm/mm, 0.000106 mm/mm, 0.000101 mm/mm dan 0.000097 mm/mm. Regangan maksimum pada daerah tengah balok serat atas untuk model 1, model 2, model 3, model 4 dan model 5 masing-masing sebesar 0.0000384 mm/mm, 0.0000469 mm/mm, 0.0000506 mm/mm, 0.0000511 mm/mm dan 0.0000541 mm/mm. Sedangkan regangan maksimum pada daerah ujung balok serat atas untuk model 1, model 2, model 3, model 4 dan model 5 masing-masing sebesar 0.00000634 mm/mm, 0.00000178 mm/mm, 0.00000317 mm/mm, 0.00000347 mm/mm dan 0.00000703 mm/mm.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 13-04-2024 | Selesai Revisi : 19-07-2024 | Diterbitkan Online : 27-10-2024

Dengan demikian, pada bagian pangkal balok kantilever, terjadi penurunan regangan dimana prosentase penurunan regangan model dengan rasio tinggi balok kantilever nonprismatis (h_1/h_2) 1/2, 1/3, 1/4 dan 1/5 masing-masing sebesar 19.44%, 26.39%, 29.86% dan 32.64% terhadap model 1 (balok prismatis) seperti disajikan pada Gambar 10. Pada bagian tengah balok kantilever, terjadi peningkatan regangan dengan prosentase peningkatan regangan model dengan rasio tinggi balok kantilever nonprismatis (h_1/h_2) 1/2, 1/3, 1/4 dan 1/5 masing-masing sebesar 22.14%, 31.77%, 33.07% dan 40.89% terhadap model 1 (balok prismatis) seperti disajikan pada Gambar 10. Semakin menurunnya volume beton pada balok kantilever nonprismatis beton bertulang, maka lendutan semakin meningkat seiring meningkatnya regangan pada daerah tengah dan ujung balok kantilever.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin kecil rasio h_1/h_2 , maka lendutan meningkat dan menurunnya tegangan dan regangan utama maksimum pada daerah pangkal dan meningkat pada daerah tengah. Dalam pelaksanaan di lapangan, direkomendasikan menggunakan balok kantilever nonprismatis untuk mengurangi biaya dan pertimbangan estetika.

Saran dalam penelitian ini adalah dapat dilanjutkan untuk bentang dan material lain balok kantilever nonprismatis. Untuk bentang panjang direkomendasikan menggunakan balok kantilever nonprismatis dengan material beton mutu tinggi.

Daftar Pustaka

- [1] T. I. Maulana, B. Soebandono, B. S. Jagad, and H. Prayuda, "Stress and deformation analysis of tapered cantilever castellated beam using numerical method," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 352, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1757-899X/352/1/012029.
- [2] M. M. Yehia, S. M. Gaawan, R. Elwan, O. R. Shahin, and W. Z. El-sayad, "Structural performance evaluation of cold formed steel cantilever beams with varying perforation Patterns," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 91, no. October 2023, pp. 204–221, 2024, doi: 10.1016/j.aej.2024.01.049.
- [3] BSN, *SNI 2052:2017, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung*. 2019.
- [4] R. Trimurtiningrum, F. Saves, L. E. Fatmawati, and Y. A. Setiawan, "Kinerja Struktur Gedung Beton Bertulang Dengan Bentang Kantilever 4 M Menggunakan Metode Analisis Pushover," *Extrapolasi*, vol. 17, no. 2, pp. 16–25, 2020, doi: 10.30996/exp.v17i2.4429.
- [5] M. B. Palungan, D. Dayera, and M. Fatem, "Analisa Balok Kantilever Dengan Beban Tidak Terbagi Merata," *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)*, vol. 6, no. 2, pp. 51–55, 2021.
- [6] G. Majumder and K. Kumar, "Deflection and Stress Analysis of a Cantilever and its Validation Using ANSYS," *International Journal of Mechanical Engineering and Research*, vol. 6, no. 1, pp. 119–126, 2016, [Online]. Available: <http://www.ripublication.com/>
- [7] D. HODŽIĆ, "Bending Analysis of Cantilever Beam in Finite," *International Journal of Engineering*, vol. XIX, no. January, pp. 1–5, 2022.
- [8] D. E. Christopher and L. S. Tedianto, "Analisis Perilaku Pelat Kantilever Beton Bertulang Dengan Bukaannya Menggunakan Metode Elemen Hingga," *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 555–564, 2022, doi: 10.24912/jmts.v5i2.17173.
- [9] S. P. Chaphalkar, S. N. Khetre, and A. M. Meshram, "Modal analysis of cantilever beam Structure Using Finite Element analysis and Experimental Analysis," *American Journal of Engineering Research (AJER)*, vol. 4, no. 10, pp. 178–185, 2015.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 13-04-2024 | Selesai Revisi : 19-07-2024 | Diterbitkan Online : 27-10-2024

- [10] B. Adavadkar and A. Admuthe, "Modal Analysis of Cantilever Beam Using Analytical and Finite Element Method," *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*, vol. 8, no. 6, pp. 566–573, 2021, [Online]. Available: www.jetir.orgb566
- [11] BSN, *SNI 2015:2017, Baja Tulangan Beton*. 2017.
- [12] BSN, *SNI 2847:2019, Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. 2019.

Informasi Artikel

Diterima Redaksi : 13-04-2024 | Selesai Revisi : 19-07-2024 | Diterbitkan Online : 27-10-2024
