Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, 7 (1), 2022, page 28 - 40

Tersedia *online* di https://jurnal.unitri.ac.id/index.php/rekabuana

ISSN 2503-2682 (*Online*)
ISSN 2503-3654 (Cetak)

Analisis Numeris Pengaruh Penambahan Bambu Bulat Pada Struktur Kolom Beton Komposit Berongga Terhadap Kapasitas Aksial

(Numerical Analysis of the Effect of Adding Bamboo Culms on Hollow Composite Concrete Column Structures on Axial Capacity)

Sabilul Muhtadi [1*], B. Sri Umniati [2], Mohammad Sulton [3]
[1, 2, 3] Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang

ARTICLE INFO

Article history
Received : 05 January 2022
Revised : 18 February 2022
Accepted : 10 March 2022

DOI :
https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i1.3188

Keywords : *axial capacity; bamboo; column concrete; hollow; self weight;*

***e-mail corresponding author :**
sabilul.muhtadi.1805258@students.um.ac.id

ABSTRAK

Permasalahan berat sendiri pada suatu struktur menjadi hal yang penting untuk dikaji. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan solusi dari permasalahan berat sendiri dengan membuat struktur kolom berongga. Untuk menggantikan kekuatan dari volume beton yang hilang karena rongga, maka ditambahkan bambu ke dalam struktur kolom. Benda uji terdiri dari empat kolom, tiga kolom berongga dengan penambahan batang bambu dan satu kolom solid. Variasi jumlah batang bambu yaitu satu, dua, dan empat batang, dimasukkan ke dalam kolom dengan penampang 300x300 mm dan tinggi 800 mm. Jenis bambu yang digunakan yaitu bambu petung berumur minimal tiga tahun dengan diameter ±120mm. 12 buah tulangan bambu berukuran 15x10 mm dan 4 buah tulangan baja berdiameter 10 mm digunakan sebagai tulangan utama. Untuk sengkang, digunakan sengkang tertutup dengan diameter 8 mm. Beban yang diberikan pada kolom berupa beban aksial sebesar 900 kN pada permukaan atas kolom. Dari hasil penelitian, adanya rongga dan penambahan batang bambu pada kolom menyebabkan kenaikan nilai deformasi aksial, dari 0,2675 mm pada Kolom Solid, lalu Kolom A, B dan C berturut-turut meningkat menjadi 0,2707 mm, 0,2731 mm dan 0,2874 mm.

PENERBIT

UNITRI PRESS
Jl. Telagawarna, Tlogomas-Malang, 65144, Telp/Fax: 0341-565500

This is an open access article under the **Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License**. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC–BY-SA

ABSTRACT

The problem of self-weight in a structure is an important thing to study. This study aims to find a solution to the problem of self-weight by making a hollow column structure. Bamboo is added to the column structure to replace the strength of the concrete volume lost due to voids. The test object consisted of four columns, three hollow columns with the addition of bamboo rods, and one solid column. Variations in the number of bamboo sticks, namely one, two, and four sticks, were inserted into a column with a cross-section of 300x300 mm and a height of 800 mm. The type of bamboo used is petung bamboo with a minimum age of three years with a diameter of ±120 mm. Twelve pieces of bamboo reinforcement measuring 15x10 mm and four pieces of steel reinforcement with a diameter of 10 mm were used as the primary reinforcement. For stirrups, closed stirrups with a diameter of 8 mm are used. The load given to the column is an axial load of 900 kN on the top surface of the column. From the results of the study, the presence of cavities and the addition of bamboo stems in the column caused an increase in the value of the axial deformation, from 0.2675 mm in the Solid Column, then Columns A, B, and C increased to 0.2707 mm, 0.2731 mm and 0.2874 mm respectively.

Cara Mengutip : Muhtadi, S., Umniati, B.S., Sulton, M. (2022). Numerical Analysis of the Effect of Adding Bamboo Culms on Hollow Composite Concrete Column Structures on Axial Capacity. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik* Kimia, 7(1), 28-40. doi:https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i1.3188

1. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia termasuk dalam kategori wilayah rawan gempa, terbukti dengan intensitas gempa di Indonesia yang sangat tinggi. Sekitar tahun 2018 gempa bumi berkekuatan 7,4 skala richter yang diikuti tsunami dan likuifaksi melanda Indonesia tepatnya di Palu, Sulawesi Tengah [1]. Dan kerusakan pada banyaknya rumah tinggal ketika terjadi gempa, disebakan oleh banyak bangunan yang tidak dirancang untuk tahan gempa [2], [3].

Berdasarkan data dari BNPB, total kerusakan rumah yang diakibatkan oleh gempa besar Lombok tahun 2018 yaitu 75.195 bangunan rusak berat, 32.829 bangunan rusak sedang dan 114.506 bangunan rusak ringan [4].

Maka dari itu, pembangunan di Indonesia terutama pada wilayah yang rawan gempa, perlu menggunakan struktur tahan gempa. Berat sendiri suatu struktur menjadi permasalahan yang sangat perlu untuk diperhitungkan dalam merencanakan struktur tahan gempa. Karena, sesuai dengan yang dirumuskan dalam hukum newton; di mana gaya atau beban adalah hasil kali dari massa dan percepatan yang dihasilkan. Sehingga semakin berat massa bangunan, maka akan semakin besar gaya gempa yang bekerja pada bangunan tersebut.

Dalam upaya mengatasi permasalahan berat sendiri suatu struktur, dilakukan minimalisasi pada penggunaan beton khususnya di struktur kolom. Maka dalam penelitian ini dibuatlah rongga (hollow) di tengah kolom. Bila rongga sebesar lebih dari 4% luas penampang kolom, maka pengaruh rongga perlu diperhitungkan terhadap penurunan kekuatan kolom [5]. Untuk mengatasi penurunan kekuatan yang terajadi, maka diberi penambahan penguatan dengan memasukkan batang bambu ke dalam rongga kolom. Susunan bambu akan berpengaruh pada kekakuan dan beban pada kondisi elastis [6], [7].

Penggunaan bambu pada suatu rangkaian struktur beton, dapat membuat semakin ringan struktur tersebut. Tetapi kapasitas beban juga akan semakin menurun [8]. Bambu berpotensi sebagai bahan pengganti untuk kayu yang semakin langka, dan dengan perencanaan yang tepat bambu dapat menjadi memiliki daya tahan yang lama [9], [10]. Maka penambahan bambu pada struktur beton penting untuk diteliti sehingga dapat memberikan alternatif pada struktur bangunan yang kuat. Dampak akibat penambahan bambu pada penelitian ini akan disimimulasikan menggunakan software berbasis metode elmen hingga. Tujuan simulasi ini adalah menganalisis hubungan tegangan dan regangan serta deformasi yang terjadi akibat beban akssial terhadap kolom yang diberi penambahan bambu dan berpenampang berongga.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan analisis numerik dengan simulasi perangkat lunak. Simulasi dalam bidang teknik sipil merupakan pemodelan suatu struktur dengan kondisi batas yang menyerupai dengan kondisi aslinya. Simulasi memiliki keuntungan dari segi biaya, waktu, efisiensi, dan efektivitas dibanding dengan pengujian secara eksperimen. Simulasi juga dapat menjadi acuan untuk dapat meminimalisir kesalahan yang terjadi ketika kita akan melakukan eksperimen.

Tahapan penelitian dimulai dengan memodelkan dan memasukkan sifat-sifat bahan. Kemudian diberi perlakuan tumpuan dan beban aksial sesuai dengan rencana pembebanan. Setelah itu menganalisis perilaku kolom, mendefinisikan hubungan antara beban aksial dengan deformasi aksial kolom, tegangan serta regangan yang terjadi pada kolom.

Langkah-langkah yang terdapat di dalam simulasi antara lain:

1. Pre-Processing

Pre-processing merupakan tahap awal simulasi atau persiapan. Pre-processing terdiri dari pemodelan geometri, penentuan material, pemilihan jenis analisis, pengaturan interaction, pengaturan kondisi batas, dan meshing part.

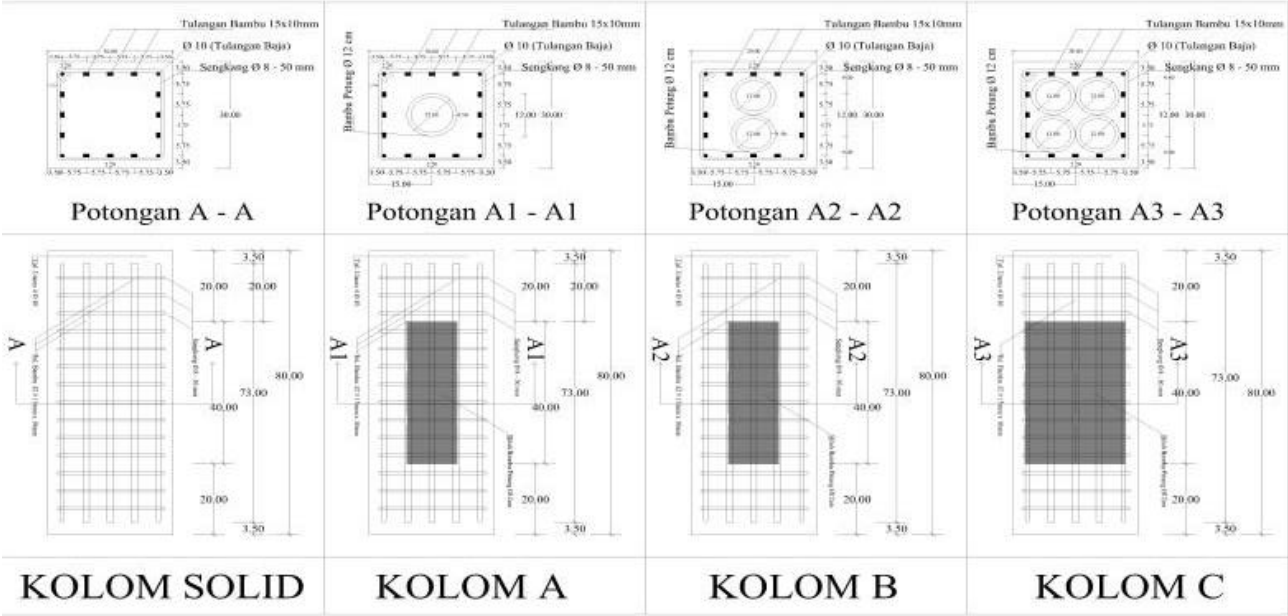
a. Pemodelan Geometri

Material kolom yang disimulasaikan terdiri dari beton, besi tulangan, bambu tulangan dan bambu bulat. Tinggi keseluruhan kolom 800 mm dan ukuran penampang 300×300 mm. Kolom dibagi menjadi 4 jenis dengan komponen masing-masing kolom ditunjukkan pada Tabel 1.

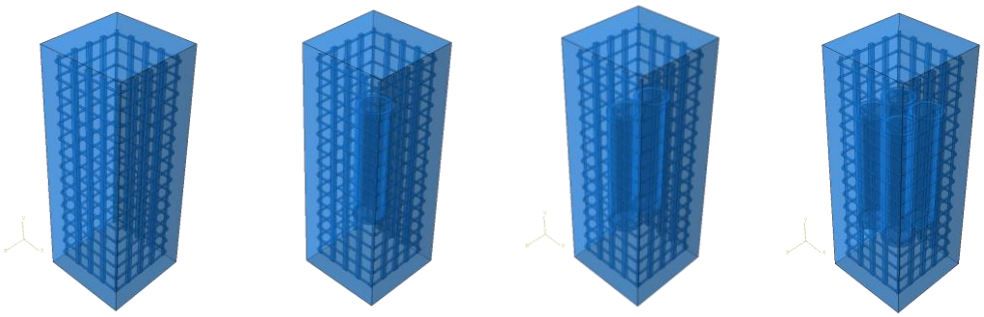
Tabel 1. Model masing-masing benda uji kolom

Model	Komponen	Dimensi (mm)	Luas Lubang (mm^2)	Luas Bambu (mm^2)	Pengurangan Volume Beton (%)
Kolom Solid	Beton, Tulangan Baja, Tulangan Bambu	300 x 300 x 800	0	0	0
Kolom A	Beton, Tulangan Baja, Tulangan Bambu, 1 Bambu Bulat	300 x 300 x 800	9503,318	1806,416	10,56
Kolom B	Beton, Tulangan Baja, Tulangan Bambu, 2 Bambu Bulat	300 x 300 x 800	19006,636	3612,832	21,12
Kolom C	Beton, Tulangan Baja, Tulangan Bambu, 4 Bambu Bulat	300 x 300 x 800	38013,272	7225,664	42,24

Berdasarkan tabel 1, diketahui perbedaan geometri tiap – tiap benda uji. Perbedaannya terletak pada jumlah bambu bulat (tabung) yang diamsukkan pada kolom. Kemudian penambahan tersebut mengakibatkan pengurangan volume beton. Dan untuk lebih jelas terkait dengan bentuk benda uji, akan disajikan pada gambar 1a dan 1b.



Gambar 1a. Spesimen Kolom dan Potongan



Gambar 1b. Kolom 3D

Gambar 1a adalah gambar potongan memanjang dan melintang kolom. Pada gambar tersebut ditunjukkan jumlah dan konfigurasi bambu yang ditambahkan ke dalam kolom. Sedangkan pada gambar 1b, ditunjukkan model tiga dimensi kolom. Selanjutnya, data sifat-sifat material (material properties) diinputkan sesuai dengan data hasil uji material yang telah dilakukan di Laboratorium.

b. Material

Material properties masing-masing komponen yang dimasukkan untuk simulasi meliputi Modulus Young dan Rasio Poison. Besarnya modulus young dan rasio poison ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Material penyusun kolom

Komponen	Material	Modulus Young (MPa)	Rasio Poison
Tulangan Baja	Baja	200000	0.3
Tulangan Bambu & Bambu Bulat	Bambu	11214.83	0.32
Beton	Beton	24804.33	0.25

c. Jenis Analisis

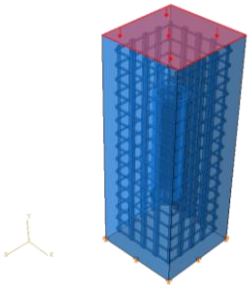
Sebelum menjalankan simulasi diperlukan pengaturan jenis analisis yang akan digunakan melalui menu *step* yang terdapat pada *software*. Untuk simulasi penelitian ini, analisis yang dipilih adalah jenis *static* dengan prosedur *general*, karena beban yang diberikan ialah beban aksial tekan statis dengan kenaikan beban 100 kN untuk setiap tahap pembebanan.

d. Interactions

Interctions berfungsi memberikan hubungan antar komponen yang telah di*assembly*. *Interactions* yang dipilih pada simulasi adalah jenis *constraints*. *Contraints* mendefinisikan batasan pada derajat kebebasan analisis. Jenis *constraints* yang dipilih adalah *embedded region constraint*, dengan tulangan besi, tulangan bambu, dan bambu bulat sebagai *embedded region* dan kolom sebagai *host region*.

e. Penentuan Kondisi Batas

Kondisi batas untuk semua model terdiri dari pembebanan aksial yang ditunjukkan Gambar 2.



Gambar 2. Letak Kondisi Batas dan Pembebanan

Dari gambar 2 di atas diketahui jenis tumpuan yang digunakan pada simulasi ini adalah tumpuan jepit di bagian bawah. Kemudian diberikan beban tekan aksial *(pressure)* merata sampai sebesar 900 kN pada bagian atas kolom. Untuk lebih rinci terkait beban bisa dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Beban yang diberikan pada kolom

Step	Beban (N)	Beban *pressure* yang diinput di *software* (MPa)
1	99000	1,1
2	198000	2,2
3	297000	3,3
4	396000	4,4
5	495000	5,5
6	594000	6,6
7	693000	7,7
8	792000	8,8
9	900000	10

Pada tabel 3 ditunjukkan bahwa ada 9 *step* pembebanan yang akan disimulasikan terhadap kolom. Dari tiap-tiap *step* pembebanan akan dilihat perilaku dari masing-masing benda uji kolom.

f. Meshing

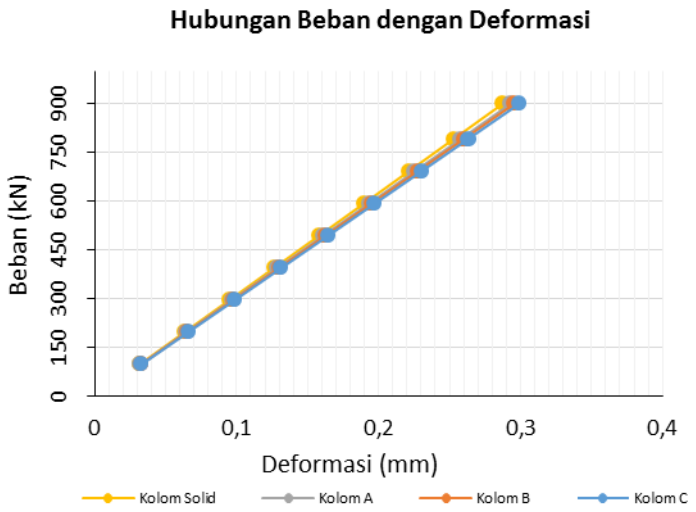
Meshing merupakan suatu proses membagi geometri menjadi elemen-elemen kecil dan setiap elemen mempunyai *node* atau titik. Pada setiap *node* terdapat derajat kebebasan atau *Degree Of F reedom* di mana gaya didistribusikan ke setiap elemen. Semakin banyak *node* maka hasilnya akan semakin mendekati kondisi aslinya [11].

Meshing yang digunakan pada simulasi ini adalah elemen gabungan Hexagonal dan Tetrahedral. Tipe hexagonal memiliki keuntungan yakni penyelesaian perhitungan / *running* lebih cepat dan efisien. Tipe Hexagonal digunakan pada bagian beton, tulangan bambu, dan bambu bulat. Sedangkan tipe Tetrahedral digunakan pada tulangan baja yang memiliki profil yang lebih kompleks. Pembuatan mesh dilakukan dengan *seed part*. Masing-masing bagian yang telah di-*meshing*, rata-rata memiliki 57.000 elemen.

Setelah semua data terkait permodelan kolom diinputkan, data tersebut kemudian dikirim dengan perintah *submit* pada menu *job*. Kemudian data – data tersebut dijalankan *(running)*. Setelah proses *running* selesai maka akan didapatkan hasil analisis pengaruh penambahan bambu bulat pada struktur kolom beton komposit berongga.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi dari analisa numeris tentang pengaruh penambahan bambu bulat pada kolom berongga akan disajikan dalam gambar grafik, dan tabel.



Gambar 3. Hubungan beban dengan deformasi berdasarkan hasil simulasi

Gambar 3 menunjukkan hubungan beban dengan deformasi yang dihasilkan oleh beban aksial pada setiap kolom. Semakin bertambahnya beban yang diberikan, maka semakin bertambah besar deformasi yang terjadi pada kolom. Karena deformasi berbanding lurus dengan beban dan panjang kolom [12].

Deformasi yang terjadi pada kolom juga semakin besar seiring bertambahnya rongga dan bambu yang ditambahkan ke dalam kolom. Terbukti dengan deformasi pada kolom C lebih besar dari kolom B, kolom A dan kolom solid. Hal ini sesuai dengan:

$$\Delta L = FL/\Sigma EA \quad (1)$$

Di mana:

F = Beban

L = Panjang kolom

E = Modulus elastisitas

A = Luas penampang

Dari persaman (1) kemudian dijabarkan ke dalam persamaan (2).

$$\Delta L = \frac{FL}{(E_1 . A_1)+(E_2 . A_2)+(E_3 . A_3)} \quad (2)$$

Di mana:

E_1 = Modulus elastisitas beton

E_2 = Modulus elastisitas baja

E_3 = Modulus elastisitas bambu

A_1 = Luas penampang beton

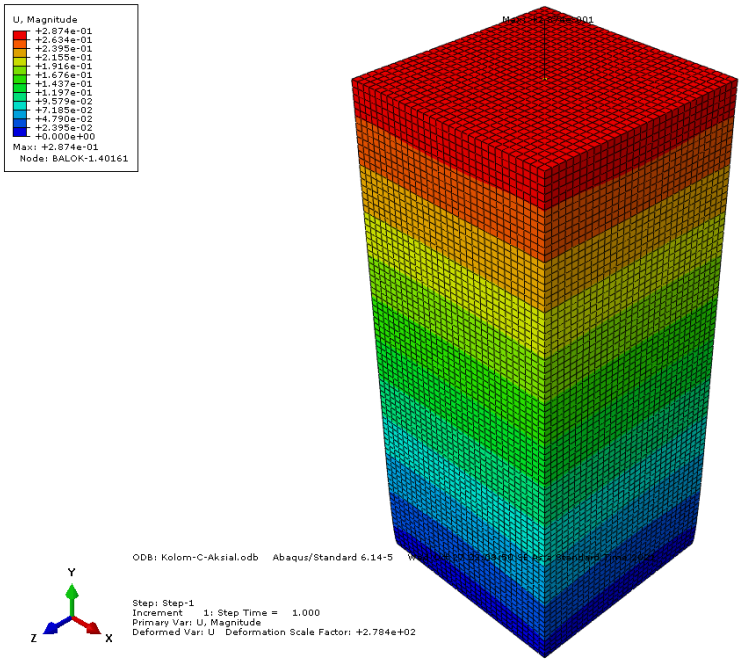
A_2 = Luas penampang baja

A_3 = Luas penampang bambu

Tabel 4. Hasil Simulasi Terkait Deformasi Aksial Kolom

Benda Uji	ΔL (mm)
Kolom Solid	0,2675
Kolom A	0,2707
Kolom B	0,2731
Kolom C	0,2874

Tabel 4 menunjukkan nilai deformasi hasil dari simulasi yang terjadi pada kolom ketika diberi beban aksial mencapai 900 kN, terjadi peningkatan nilai deformasi yang juga menandakan kekakuan kolom menurun.



Gambar 4. Deformasi pada Kolom C

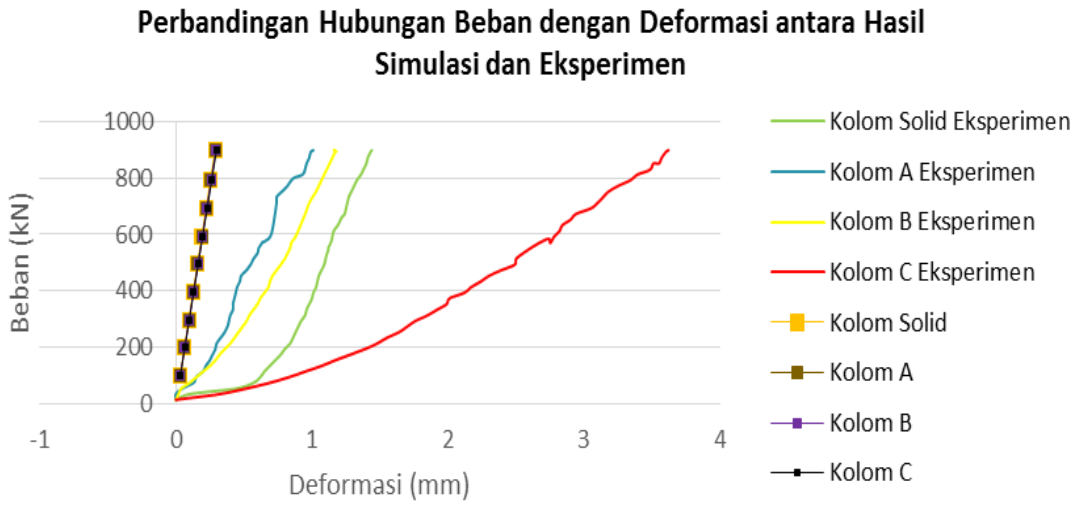
Gambar 4 menunjukkan deformasi pada kolom C yang mengalami deformasi terbesar yakni sebesar 0,2874mm. Pada kolom dengan rongga dan penambahan bambu, terdapat pengurangan luas penampang melintang sehingga hal ini menyebabkan penurunan kekakuan keseluruhan. Akibatnya deformasi yang terjadi akan semakin besar [13].

Tabel 5. Hasil Eksperimen Terkait Deformasi Aksial Kolom

Benda Uji	ΔL (mm)
Kolom Solid	1,44
Kolom A	1,01
Kolom B	1,16
Kolom C	3,62

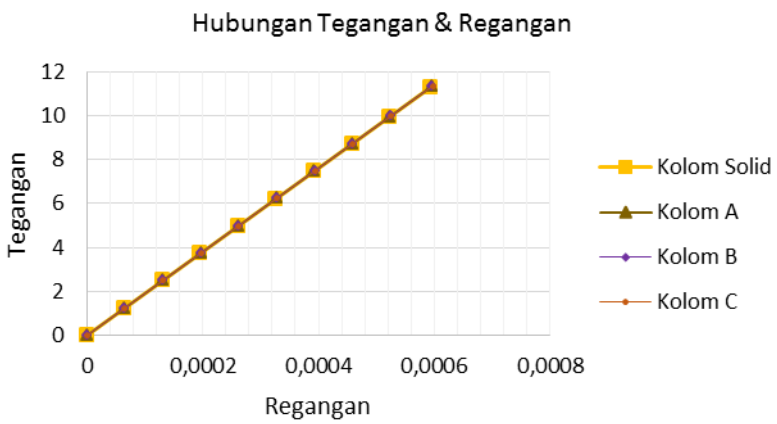
Pada Tabel 5, ditunjukkan nilai deforamsi atau pemendekan aksial yang terjadi berdasarkan hasil eksperimental pada kolom setelah diberikan beban sampai 900 kN.

Selanjutnya, hubungan beban dengan deformasi hasil dari simulasi akan dibandingan dengan hasil dari eksperimen yang sudah dilakukan di laboratorium. Perbandingan hasil simulasi dengan eksperimen akan disajikan dalam grafik seperti pada Gambar 5.



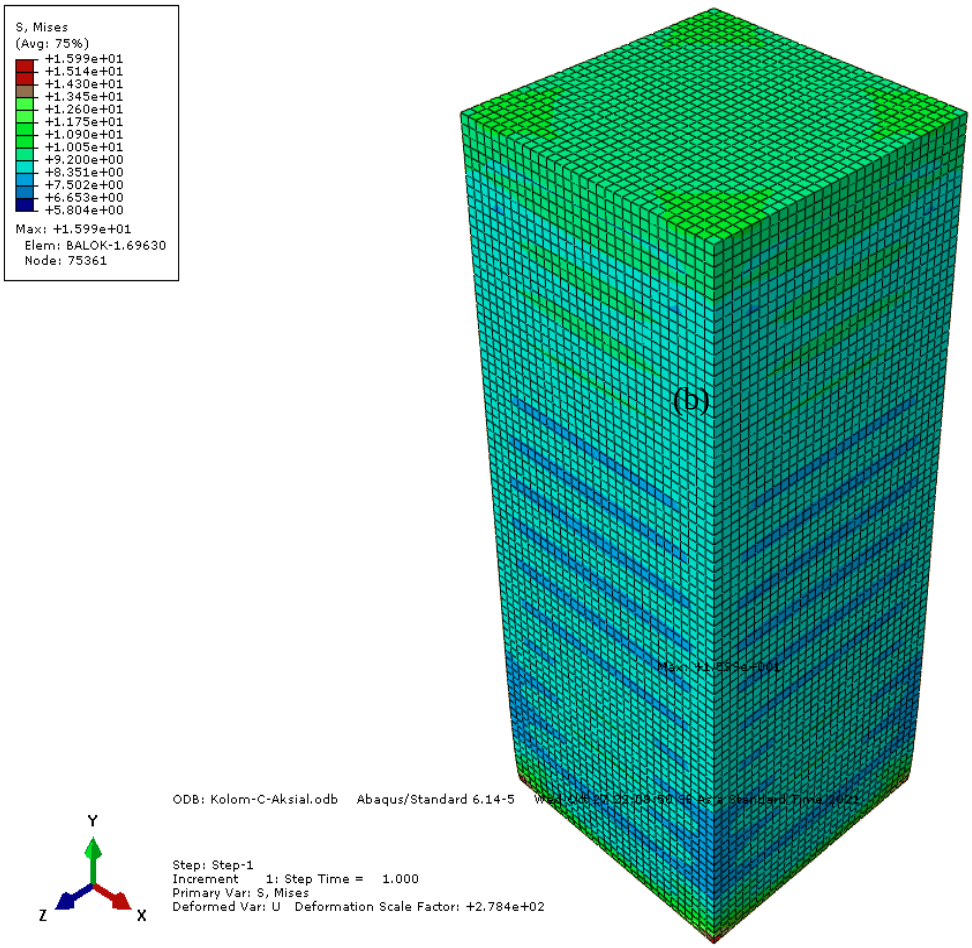
Gambar 5. Perbandingan hubungan beban dengan deformasi antara hasil simulasi dan eksperimen

Penambahan rongga dan bambu pada kolom menyebabkan penurunan nilai modulus elastisitas. Modulus elastisitas angka atau suatu besaran yang digunakan untuk mengukur ketahanan benda terhadap deformasi. Semakin kecil nilai modulus elastisitas suatu benda, maka semakin besar perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi gaya [14], [15].

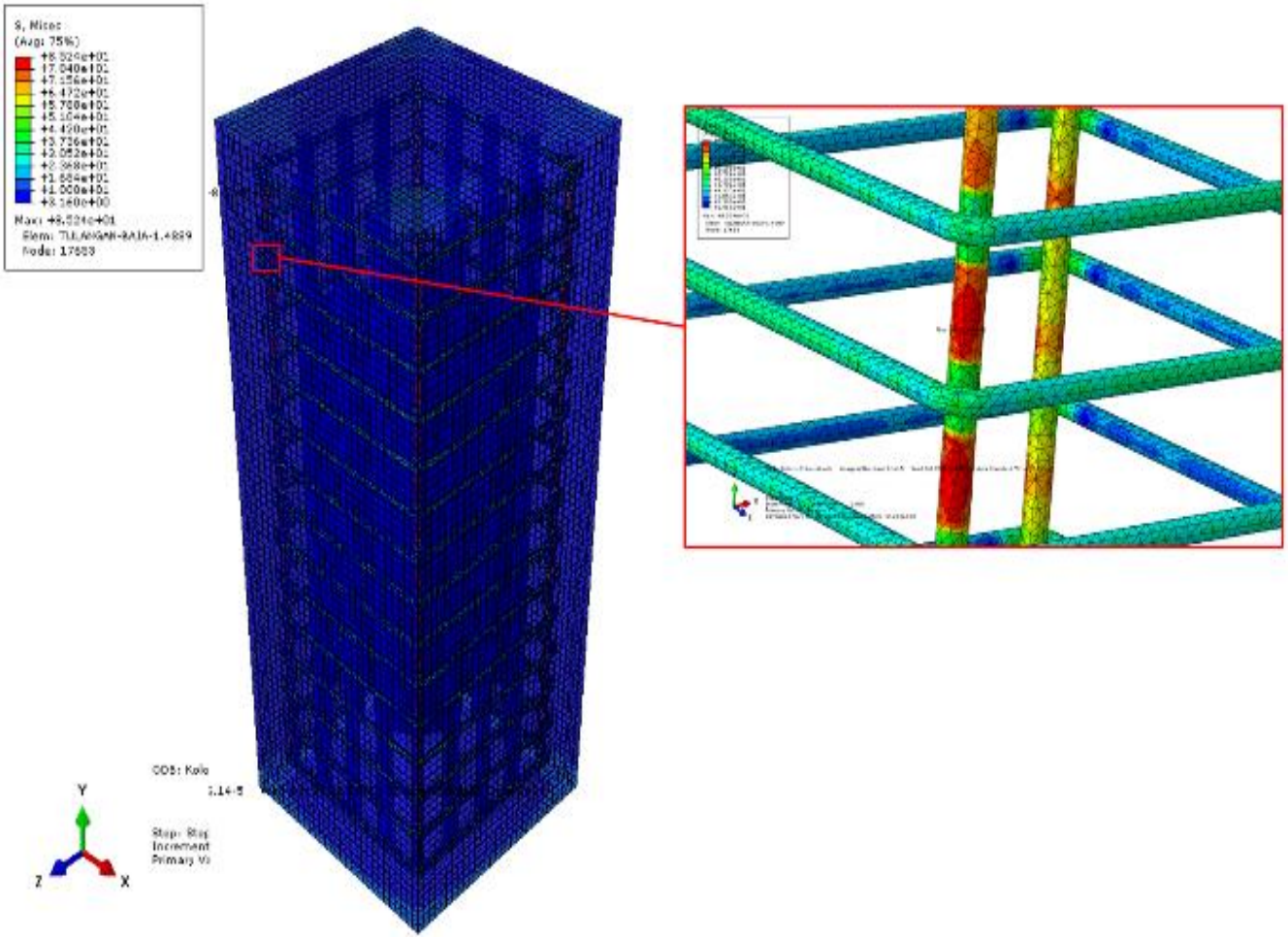


Gambar 6. Hubungan tegangan dan regangan berdasarkan hasil simulasi

Gambar 6 menunjukkan perilaku tegangan dan regangan berdasarkan hasil simulasi untuk masing-masing kolom. Tetapi, penambahan bambu menyebabkan peningkatan nilai tegangan dan penambahan regangan yang terjadi pada kolom.



Gambar 7. a) Distribusi Tegangan Kolom C;



Gambar 7. b) Letak Tegangan Maksimum Kolom C

Gambar 7 menunjukkan distribusi tegangan yang terjadi pada Kolom C serta letak tegangan maksimum pada kolom yaitu pada bagian tulangan utama.

Nilai tegangan pada masing-masing kolom dihitung dengan rumus pada persamaan (3).

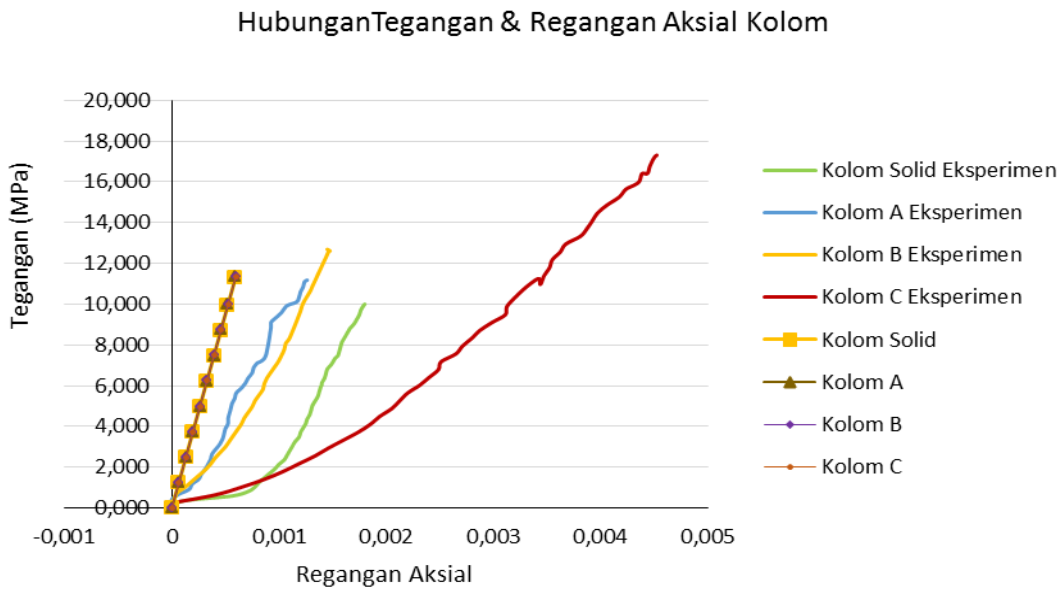
$$\sigma = \varepsilon . \Sigma E \quad (3)$$

Di mana ΣE merupakan modulus elastisitas gabungan atau keseluruhan kolom yang bisa kita prediksikan dengan rumus pada persamaan (4).

$$\Sigma E = \left(\frac{A_1}{A_g} . E_1\right) + \left(\frac{A_2}{A_g} . E_2\right) + \left(\frac{A_3}{A_g} . E_3\right) \quad (4)$$

Di mana Ag merupakan luas total penampang kolom yaitu 90000 mm^2.

Selanjutnya, hubungan tegangan dengan regangan hasil dari simulasi akan dibandingan dengan hasil dari eksperimen yang sudah dilakukan di laboratorium. Perbandingan hasil simulasi dengan eksperimen akan disajikan dalam grafik seperti pada gambar 6.



Gambar 8. Perbandingan Grafik Tegangan & Regangan Aksial Kolom Hasil Simulasi dan Eksperimen

Gambar 8 menunjukkan perbedaan nilai tegangan dan regangan antara hasil simulasi dengan hasil eksperimental di laboratorium. Trend grafik tegangan dengan regangan pada simulasi yang berdasarkan analisis linear, menunjukkan bahwa antara kolom solid dengan kolom berongga serta diberi tambahan bambu menunjukkan hasil yang mirip, hanya terjadi sedikit perbedaan. Juga, memperlihatkan bahwa dengan adanya rongga serta penambahan bambu, nilai tegangan yang terjadi meningkat. Ini menunjukkan perilaku yang sama dengan hasil eksperimen yang juga menunjukkan peningkatan nilai tegangan, namun pada eksperimen angkanya lebih besar.

Dari Gambar 5 dan Gambar 8, ditunjukkan hasil eksperimental Kolom Solid memiliki deformasi yang lebih besar dari Kolom A (satu bambu) dan kolom B (dua bambu), padahal secara teoritis deformasi Kolom Solid memiliki nilai deformasi yang lebih kecil. Hal ini bisa disebabkan karena beton pada Kolom Solid ini terdapat keropos seperti pada gambar 9.

Gambar 9. Beton keropos pada benda uji Kolom Solid

Juga pada Gambar 5 dan Gambar 8, pada hasil eksperimen, kolom C (penambahan empat bambu) menunjukkan nilai deformasi serta regangan yang sangat besar dibandingkan dengan kolom yang lain, selain karena luas penampang beton yang banyak berkurang dan peningkatan modulus elastisitas akibat penambahan bambu, hal tersebut juga diakibatkan oleh beton yang keropos seperti ditunjukkan pada Gambar 10.

Gambar 10. Beton keropos pada benda uji Kolom C (penambahan empat bambu)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pada hasil dan pembahasan dapat disimpulkan bahwa penambahan bambu pada struktur kolom berongga dapat menyebabkan peningkatan nilai deformasi. Pada kolom Solid nilai deformasinya 0,0333mm, kemudian Kolom A, B dan C meningkat menjadi 0,0377mm, 0,0433mm, dan 0,0619mm karena menurunnya nilai modulus elastisitas (E). Penambahan batang bambu pada struktur kolom berongga menyebabkan peningkatan nilai tegangan, hal ini terjadi karena berkurangnya luas penampang melintang pada kolom. Kapasitas beban aksial pada kolom menurun akibat adanya rongga, dan penambahan batang bambu sebagai upaya penyokong tambahan untuk kuat tekan aksial tidak dapat mereduksi penurunan tersebut secara maksimal. Hal ini disimpulkan berdasarkan perbandingan nilai tegangan dan regangan antara Kolom Solid dengan Kolom A, Kolom B dan Kolom C di mana kolom berongga dengan penambahan batang bambu menunjukkan peningkatan nilai tegangan dan regangan yang artinya kolom berongga akan lebih cepat mencapai batas tegangan regangan ijinnya, dengan kata lain kapasitas beban aksial kolom menurun.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Pusat Data Informasi dan Humas, “Gempa Bumi Dan Tsunami Sulawesi Tengah,” 2019. .

[2] A. Pandey, Bhisnu Hari; K, Okazaki; S, “Dissemination of Earthquake Resistant Technologies for Non-Engineered Construction,” in *Proceedings of the 14th World Conference on Earthquake Engineering*, 2008.

[3] M. R. Alam, A. B. M. A. Kaish, M. F. M. Zain, S. K. Dev, and M. S. Mahzabin, "Vulnerability assessment and construction recommendations of local houses in the cyclone prone coastal areas of Bangladesh," *Int. J. Disaster Risk Reduct.*, vol. 21, pp. 118–130, 2017.

[4] A. Mustafa, Fahrul; Nursyamsi, Muhammad; Nugraha, Panca; Khairul, *Gempa Lombok 2018*. Mataram: Badan Penanggulangan Bencana Daerah, 2019.

[5] S. Zuraidah and K. Budi hastono, "Pengaruh Rongga Dalam Beton Terhadap Kuat Tekan Beton," *J. Tek. Sipil KERN*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2013.

[6] O. E. Y. Hapsari Yusrianti; Noverma, Noverma, "Pengaruh Susunan Bambu Terhadap Peningkatan Kekuatan Dan Kekakuan Elemen Struktur Bangunan," *J. Tek. Sipil*, no. Vol 15, No 1 (2018), pp. 42–49, 2018.

[7] F. Silitonga, "PERILAKU BALOK KOMPOSIT BAMBU BETUNG-BETON DENGAN BAMBU DIISI DI DALAM BALOK BETON (EKSPERIMEN)," 2011.

[8] A. Wahono, "Aplikasi Agregat Ringan Untuk Meriduksi Berat Beton Komposit," *Ilmu-Ilmu Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 57–66, 2018.

[9] T. Wonlele, S. M. Dewi, and S. Nurlina, "229-488-1-Pb," vol. 7, no. 1, pp. 1–12, 2013.

[10] N. K. A. Artiningsih, "Pemanfaatan bambu pada konstruksi bangunan berdampak positif bagi lingkungan," *Metana*, vol. 8, no. 1, pp. 1–9, 2012.

[11] A. Herdiana, "Analisis Optimalisasi Fungsi Ball Joint pada Mesin Uji Tarik dengan Menggunakan FEM," *https//jurnal.unma.ac.id/index.php/ST Ranc.*, no. 2018, pp. 66–72, 2019.

[12] J. H. Burge, "Normal Stress and Strain," 2016.

[13] B. S. Umniati, M. Sulton, R. Sulaksitaningrum, M. M. A. B. Abdullah, and S. Muhtadi, "Mechanical characteristics of bamboo reinforced concrete precast column, a numerical analysis," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2447, no. October, 2021.

[14] P. P. Askeland; Donald, R; Phulé, "The science and engineering of materials," in *The science and engineering of materials*, (5th-Editi., Cengage Learning, 2006, p. 198.

[15] A. Michael, S. Hugh, and C. David, *Materials Engineering, Science, Processing and Design*, 3th ed. Elsevier, 2014.