

## ANALISIS KEKUATAN KOLOM KOMPOSIT TERBUNGKUS BETON BERPENAMPANG BUNDAK TERHADAP KAPASITAS TAHANAN AKSIAL DAN MOMEN DENGAN METODE BEDA HINGGA

**Rizki Aidil<sup>1)</sup>, Mukhlis Islam<sup>1)</sup>, Ade Sri Wahyuni<sup>1)</sup>, Agustin Gunawan<sup>1)</sup>, Yuzuar Afrizal<sup>1)</sup>**  
Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNIB, Jl. W. R. Supratman,  
Kandang Limun, Kota Bengkulu 38371, Telp. (0736)344087  
Corresponding author: [aidilpasaman1@gmail.com](mailto:aidilpasaman1@gmail.com)

### Abstrak

Struktur kolom komposit pada penggunaannya dapat memberikan kekuatan yang tinggi dari gabungan dua material atau lebih dengan sifat bahan yang berbeda yang kemudian memberikan sifat gabungan yang lebih baik. Penelitian ini dilakukan dengan menganalisis struktur kolom komposit dengan metode beda hingga dan membandingkan hasilnya dengan aplikasi CSiCol. Hasil analisis diagram interaksi  $P_n$  dan  $M_n$  dari kolom komposit metode beda hingga jika dibandingkan dengan kolom komposit aplikasi CSiCol memiliki persentase perbedaan maksimal untuk nilai  $P_n$  maksimal sebesar 19,17%, nilai  $M_n$  maksimal 2,90%. Perbedaan nilai  $P_n$  dan  $M_n$  kolom komposit dapat dikoreksi dengan persamaan regresi menggunakan faktor koreksi linear dan faktor koreksi polinomial, dengan nilai persentase perbedaan  $P_n$  maksimum sebesar 8,93% untuk faktor koreksi linear dan 6,84% untuk nilai faktor koreksi polinomial. Oleh karena itu metode beda hingga dapat digunakan untuk menganalisis kolom komposit dengan akurasi yang relatif baik asalkan faktor koreksi digunakan.

**Kata kunci:** Kolom komposit terbungkus beton, analisis kekuatan kolom komposit, metode beda hingga, CSiCol.

### Abstract

*Composite column structures can provide high strength from the combination of two or more materials with different material properties which then provide better combined properties. This research was conducted by analysing the composite column structure with finite difference method and comparing the results with CSiCol application. The results of the analysis of the  $P_n$  and  $M_n$  interaction diagram of the finite difference method composite column when compared to the CSiCol application composite column have a maximum percentage difference for the maximum  $P_n$  value of 19.17%, the maximum  $M_n$  value of 2.90%. The difference in the  $P_n$  and  $M_n$  values of the composite column can be corrected with a regression equation using a linear correction factor and a Polynomial correction factor, with a maximum  $P_n$  percentage difference value of 8.93% for the linear correction factor and 6.84% for the Polynomial correction factor value. Therefore, the finite difference method can be used to analyse composite columns with relatively good accuracy provided that correction factors are used.*

**Keywords:** Concrete encased composite column, strength analysis of composite column, finite difference method, CSiCol.

## PENDAHULUAN

Kolom komposit merupakan gabungan dari dua material atau lebih yang menjadi satu kesatuan sehingga kapasitas yang dihasilkan lebih baik. Struktur kolom komposit dengan penambahan baja profil terdiri dari dua macam yaitu kolom komposit dengan baja profil dibungkus beton dinamakan kolom komposit terbungkus beton atau biasa disebut dengan *concrete encased column* dan baja profil yang berisi beton merupakan kolom komposit terisi beton atau yang juga disebut dengan *concrete filled column* atau *concrete filled steel tube (CFT)*. Bentuk dari penampang struktur komposit juga dapat bervariasi berupa bundar maupun persegi. Penambahan material baja profil pada sistem kolom komposit dapat menambah kekakuan pada kolom serta kapasitas menahan beban yang lebih besar (Propika dkk., 2020).

Desain kekuatan pada kolom komposit memiliki proses yang harus dilakukan sesuai dengan aturan-aturan yang berlaku. Standar Nasional Indonesia (SNI) terdapat peraturan untuk mendesain struktur kolom komposit yang mengacu pada peraturan *American Institute of Steel Construction (AISC)*. Prosedur analitis ini didasarkan pada aturan-aturan yang ada dan haruslah dilakukan dengan mendekati sifat-sifat material serta memvalidasi dengan uji eksperimental. Perhitungan-perhitungan yang sangat kompleks haruslah dilakukan guna untuk proses analisis, yang dimana menggunakan

metode analitis berdasarkan pada peraturan dan mengharuskan perhitungan secara komprehensif lantaran sifat material yang tidak bisa diabaikan. Kolom komposit dengan gabungan beton dan baja profil didasarkan pada kombinasi sifat material beton baik dalam menerima beban tekan dan dan lemah terhadap menerima beban tarik. Material baja baik dalam menerima beban tekan maupun tarik namun perlu diperhatikan bahaya tekuk saat menerima beban tekan (Sugianti, 2020).

Zaman dimana sebelum digital menjadi sesuatu yang lumrah pada saat ini, pendekatan prosedur analisis alternatif dengan metode beda hingga kerap digunakan dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan analisis pada struktur. Metode ini kemudian perlahan ditinggalkan karena mengharuskan perhitungan yang berulang, jika dibandingkan dengan metode analitis. Namun pada saat ini metode beda hingga memungkinkan untuk digunakan lagi, karena kompleksitas tertentu pada suatu struktur untuk diselesaikan dengan mudah. Metode ini memiliki keunggulan yaitu perhitungan yang sederhana selama perilaku material dapat dimodelkan dalam suatu persamaan matematis (Islam, 2016).

Penelitian Propika, dkk., (2020) mengenai analisa perbandingan kolom komposit terbungkus beton dan terisi beton terhadap kapasitas tahanan aksial dan momen, menyebutkan bahwa kolom komposit terisi beton berbentuk bundar dengan diameter 431 mm lebih

unggul sebesar 17% dalam menahan gaya aksial nominal ( $\emptyset P_n$ ) dibandingkan semua tipe kolom komposit yang lain, sedangkan kolom komposit terisi beton berbentuk kotak ukuran 405,70 mm x 405,70 mm lebih unggul menahan momen nominal ( $\emptyset M_n$ ) sebesar 10,5% dibandingkan semua tipe kolom komposit yang lain. Pada penelitian ini Propika, dkk., (2020) menggunakan analisa perbandingan antara perhitungan manual dengan *software* CSiCol, sedangkan pada penelitian ini akan digunakan metode beda hingga sebagai metode alternatif dalam melakukan analisis dan desain kolom beton.

## TINJAUAN PUSTAKA

### Desain Awal

#### a. Batasan Tulangan

SNI-1729-2020 pada bab I tentang Desain Komponen Struktur Komposit menjelaskan bahwa rasio tulangan minimum  $\rho_{sr}$  sebesar 0,004 digunakan untuk tulangan memanjang menerus. Rasio  $\rho_{sr}$  adalah  $\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g}$ , dimana  $A_g$  adalah luas kotor penampang komposit dan  $A_{sr}$  adalah luas total dari tulangan.

#### b. Batasan Baja

Pasal 10.3.1.6 pada SNI-2847-2019 menyatakan bahwa tebal baja untuk kolom komposit dengan inti beton lapis baja struktural, persyaratan minimum harus dipenuhi  $t =$

$$h \sqrt{\frac{f_y}{8 E_s}}$$

dimana h adalah diameter.

#### c. Batasan Beton

SNI-1729-2020 pada bab I tentang Desain Komponen Struktur Komposit menyatakan bahwa kuat tekan beton yang digunakan harus mempunyai kuat tekan minimal 3 ksi (21 MPa), maksimal 10 ksi (69 MPa) untuk beton biasa dan minimal 3 ksi (21 MPa), hingga 6 ksi (41 MPa) untuk beton ringan.

### Kolom Komposit

Kolom merupakan komponen struktur bangunan yang bertugas menyangga beban aksial tekan vertikal ( $P_n$ ) dan momen nominal ( $M_n$ ) pada sebuah bangunan structural (Islam, 2019). Kolom memiliki peranan yang sangat penting di dunia konstruksi dalam perannya dalam menopang dan meneruskan beban yang dipikulnya dari struktur bagian atas dan menyalurkannya menuju pondasi.

Komposit secara bahasa memiliki arti menyusun atau menggabung. Komposit adalah penggabungan dari dua atau lebih material yang berbeda sebagai suatu kombinasi yang menyatu. Secara sederhana kolom komposit adalah gabungan dari beton bertulang dan baja yang menyusun kolom sebagai elemen struktural. Gabungan dari baja dengan beton didasarkan bahwa beton mempunyai kekuatan yang kuat untuk menerima beban tekan namun lemah terhadap tarik. Baja mempunyai kemampuan bahan yang sama baik untuk beban tekan dan beban tarik tetapi harus tetap mewaspadaai terhadap bahaya tekuk ketika menerima beban tekan.

### **Aplikasi CSiCol**

CSiCol adalah perangkat lunak yang komprehensif untuk menganalisis dan merancang beton, beton bertulang, dan kolom komposit beton bertulang. CSiCol memberikan akses ke semua bagian yang diperlukan selama proses desain kolom, sehingga membuat desain menjadi sederhana, teratur, efisien (CSiCol *user manual*, 2020).

Program CSiCol dapat merancang penampang kolom untuk beban aksial dan momen tertentu secara langsung atau dapat menghitung momen yang diperbesar yang disebabkan oleh efek kelangsingan. Jumlah kombinasi beban yang tidak terbatas dapat ditentukan, baik untuk kondisi bergoyang maupun tidak bergoyang. Pemeriksaan kondisi goyangan dan non-goyangan juga dapat dilakukan seperti yang ditentukan dalam kode desain yang dipilih. CSiCol juga mampu menentukan faktor panjang efektif berdasarkan kondisi *framing* dan ujung kolom. Alat desain otomatis membantu secara otomatis memilih penguatan optimal untuk tindakan tertentu menggunakan aturan yang ditentukan pengguna berdasarkan peraturan yang berlaku (CSiCol *user manual*, 2020).

Program CSiCol dapat menghasilkan berbagai macam hasil. Hasil akan meliputi permukaan interaksi kapasitas, kurva  $P_n$ , kurva  $M_n$ , kurva momen-kelengkungan, dan kontur tegangan lentur. Laporan dapat dibuat sebagai bagian dari *output* untuk proses analisis dan desain (CSiCol *user manual*, 2020).

### **Metode Beda Hingga**

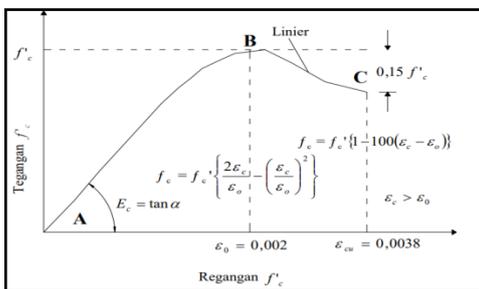
Metode beda hingga merupakan metode numerik yang umum digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknis dan matematis fenomena fisika. Prinsipnya adalah mengganti turunan yang ada pada persamaan diferensial dengan diskritisasi beda hingga berdasarkan deret Taylor. Secara fisik, deret Taylor dapat dipahami sebagai suatu blok intuitif ruang dan waktu yang dapat dihitung dari besaran waktu dan ruang, dan sedikit berbeda dengan gambaran ruang dan waktu (Rohemah, 2015).

Metode beda hingga merupakan suatu metode numerik untuk menyelesaikan persamaan diferensial dengan cara mendekati persamaan bedanya, dimana beda hingga mendekati turunannya, sehingga dapat dikatakan metode beda hingga. Istilahnya adalah metode diskritisasi (Gustafsson, 2011). Proses penyelesaian metode ini melibatkan perubahan persamaan diferensial parsial menjadi bentuk beda hingga menggunakan deret Taylor.

### **Tegangan Regangan Beton**

Diagram tegangan-regangan ( $\sigma - \epsilon$ ) beton diperoleh dari hasil uji tekan pilar beton uniaksial yang dirancang oleh Hognestad kemudian dirancang dalam persamaan matematis. Sebuah model matematis menggambarkan hubungan ini tegangan-regangan ( $\sigma - \epsilon$ ) diperlukan untuk memenuhi target menganalisa. Model yang dikemukakan oleh Hognestad (1951) cukup terkenal dan menunjukkan prediksi yang memadai mengenai tegangan-regangan beton ( $\sigma - \epsilon$ )

tepat. Regangan yang terjadi saat mencapai daerah tegangan maksimum semua beton memiliki kekuatan yang hampir sama saat diuji nilai sekitar 0,002 mm/mm tercapai. Nilai 0,0038 adalah batas regangan sebelum terjadi kegagalan beton proses pengujian. Diagram dan persamaan tegangan-regangan ( $\sigma - \epsilon$ ) dapat dilihat pada gambar 1.

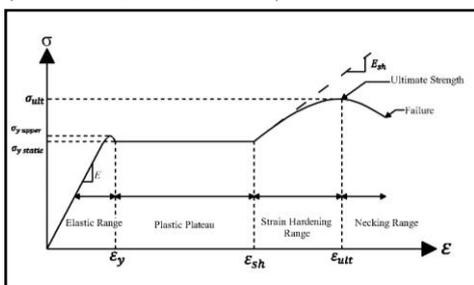


Sumber : Hognestad, 1951

Gambar 1. Tegangan Regangan Beton

**Tegangan dan Regangan Baja**

Hubungan tegangan dan regangan baja terbagi menjadi 4 zona, zona elastis, zona plastis, zona *strain hardening* dan zona terjadinya *necking* dan diakhiri dengan keruntuhan (*failure*) (Burneau, dkk., 1998).



Sumber : Bruneau, dkk., 1998

Gambar 2. Tegangan Regangan Baja

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Desain Awal**

a. Diameter Kolom

Diameter kolom yang digunakan adalah data sekunder 431,346 mm, 420 mm, 440 mm, 460 mm, 480

mm, 600 mm, 620 mm, 640 mm, dan 660 mm.

b. Batasan Tulangan

Tulangan yang digunakan adalah 8D22 dengan mutu 240 MPa.

c. Batasan Baja

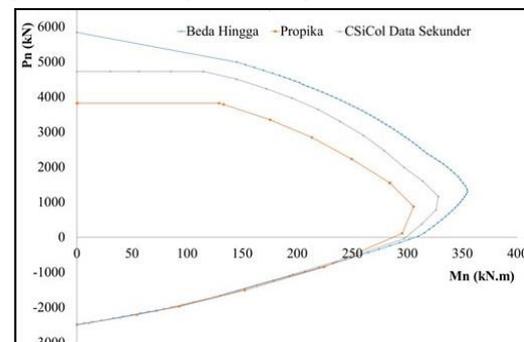
Dimensi baja yang digunakan yaitu: (200 x 200 x 8 x 12) mm, (300 x 300 x 10 x 15) mm dengan mutu baja 240 MPa.

d. Batasan Beton

Beton yang digunakan dengan mutu 21 MPa, 25 MPa, 30 MPa, 40 MPa, dan 45 MPa.

**Analisis dengan Penelitian Terdahulu (Propika, 2020)**

Analisis menggunakan metode beda hingga menunjukkan bahwa perbedaan pada saat nilai  $P_{nmax}$  pada kondisi tekan memiliki nilai persentase perbedaan sebesar 19,02% dibandingkan dengan dengan *software* CSiCol, pada saat nilai  $M_{nmax}$  memiliki nilai persentase perbedaan sebesar 2,90%, sedangkan pada saat  $P_{nmax}$  di kondisi tarik memiliki nilai persentase perbedaan sebesar 0,63% jika dibandingkan dengan CSiCol.



Gambar 3. Grafik  $P_n$  dan  $M_n$

**Analisis dengan Variasi Data**

Analisis menggunakan metode beda hingga dan CSiCol dengan variasi

diameter, tebal baja dan mutu beton yang berbeda-beda memiliki nilai  $P_n$  dan  $M_n$  yang dapat dibandingkan secara persentase nilai perbedaannya. Nilai  $P_n$  dan  $M_n$  pada setiap diameter, tebal baja dan mutu beton memiliki nilai yang bervariasi dan memiliki nilai persentase perbedaan yang seragam. Nilai  $P_{n_{max}}$  pada kondisi tekan jika diameter semakin besar maka nilai peningkatan persentase perbedaan akan makin besar juga. Nilai  $P_{n_{max}}$  pada kondisi tekan dimensi baja (200 x 200 x 8 x 12) mm memiliki rata-rata persentase perbedaan sebesar 19,17% dan dimensi baja (300 x 300 x 8 x 12) mm memiliki rata-rata persentase perbedaan sebesar 18,37%. Nilai  $M_{n_{max}}$  dengan baja (200 x 200 x 8 x 12) mm memiliki rata-rata persentase perbedaan sebesar 1,70% sedangkan pada saat baja (300 x 300 x 8 x 12) mm dengan data yang sama memiliki rata-rata persentase perbedaan sebesar 2,35%. Nilai  $P_{n_{max}}$  pada kondisi tarik dengan data yang sama nilai persentase perbedaan antara metode beda hingga dan CSiCol hampir sama yakni memiliki nilai persentase perbedaan sebesar 0,61% untuk baja (200 x 200 x 8 x 12) mm dan 0,73% untuk baja (300 x 300 x 8 x 12) mm.

#### **Analisis dengan Kolom dengan Faktor Terkoreksi**

Faktor terkoreksi yang digunakan adalah terkoreksi secara linear dan terkoreksi secara polinomial. Hasil dari analisis metode beda hingga menggunakan faktor terkoreksi linear

pada dimensi baja (200 x 200 x 8 x 12) mm memiliki persentase perbedaan rata-rata pada  $P_{n_{max}}$  pada kondisi tekan sebesar 8,93%, pada saat kondisi  $M_{n_{max}}$  rata-rata 1,25% dan pada saat  $P_{n_{max}}$  kondisi tarik hanya sebesar 0,62%, sedangkan pada dimensi baja (300 x 300 x 10 x 15) mm nilai rata-rata  $M_{n_{max}}$  pada kondisi tekan sebesar 8,12%, pada saat kondisi  $M_{n_{max}}$  rata-rata 1,65% dan pada saat  $P_{n_{max}}$  kondisi tarik hanya sebesar 0,75%. Analisis metode beda hingga menggunakan faktor terkoreksi polinomial juga memberikan hasil persentase perbedaan yang kecil juga, yakni pada dimensi baja (200 x 200 x 8 x 12) mm memiliki persentase perbedaan rata-rata pada  $P_{n_{max}}$  pada kondisi tekan sebesar 6,84%, pada saat kondisi  $M_{n_{max}}$  rata-rata 1,13% dan pada saat  $P_{n_{max}}$  kondisi tarik hanya sebesar 0,63%, sedangkan pada dimensi baja (300 x 300 x 10 x 15) mm nilai rata-rata  $P_{n_{max}}$  pada kondisi tekan sebesar 5,90%, pada saat kondisi  $M_{n_{max}}$  rata-rata 1,77% dan pada saat  $P_{n_{max}}$  kondisi tarik hanya sebesar 0,75%.

#### **KESIMPULAN**

1. Kapasitas aksial dan momen dengan metode beda hingga pada diameter kolom 431,346 mm dengan dimensi profil baja (200 x 200 x 8 x 12) mm adalah sebesar  $P_n = 5.841,77$  kN dan  $M_n = 307,54$  kNm, sedangkan hasil dari *software* CSiCol didapatkan nilai sebesar  $P_n = 4.730,66$  kN dan  $M_n = 298,43$  kNm.

2. Kapasitas aksial dan momen pada perhitungan metode beda hingga dan *software* CSiCol untuk data sekunder memiliki nilai persentase perbedaan sebesar 19,02% pada saat  $P_n$  max pada kondisi tekan, 2,90% pada saat  $M_n$  max dan 0,63% pada saat  $P_n$  kondisi tarik, sedangkan untuk data variasi memiliki persentase perbedaan yaitu untuk profil baja (200 x 200 x 8 x 12) mm sebesar 19,17% pada saat  $P_n$  max kondisi tekan, 1,70% pada saat  $M_n$  max dan 0,61% pada saat  $P_n$  kondisi tarik, variasi profil baja (300 x 300 x 10 x 15) mm sebesar 18,37% pada saat  $P_n$  max pada kondisi tekan, 2,35% pada saat  $M_n$  max dan 0,73% pada saat  $P_n$  kondisi tarik, selanjutnya untuk hasil terkoreksi linear dari data variasi yaitu untuk profil baja (200 x 200 x 8 x 12) mm sebesar 8,93%  $P_n$  max kondisi tekan, 1,25%  $M_n$  max dan 0,62%  $P_n$  kondisi tarik, variasi profil baja (300 x 300 x 10 x 15) mm sebesar 8,12%  $P_n$  max kondisi tekan, 1,65%  $M_n$  max dan 0,75%  $P_n$  kondisi tarik, sedangkan hasil terkoreksi polinomial dari data variasi yaitu untuk profil baja (200 x 200 x 8 x 12) mm sebesar 6,84%  $P_n$  max kondisi tekan, 1,13%  $M_n$  max dan 0,63%  $P_n$  kondisi tarik, variasi profil dengan dimensi baja (300 x 300 x 10 x 15) mm sebesar 5,90%  $P_n$  max kondisi tekan, 1,77%  $M_n$  max dan 0,75%  $P_n$  kondisi tarik.

## SARAN

- 1 Penelitian ini dapat dikembangkan dengan asumsi bahwa beton atau baja sudah memiliki nilai regangan akibat dari faktor luar.
- 2 Penelitian ini dapat dikembangkan dengan variasi bentuk yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Gustafsson, B., 2011, *Fundamentals of Scientific Computing*. In T. J. Barth, M. Griebel, D. E. Keyes, R. M. Nieminen, D. Roose, & T. Schlick (Eds.), *Springer Heidelberg Dordrecht London New York*, Springer Heidelberg Dordrecht.
- Hognestad, E., 1951, *A Study of Combined Bending and Axial Load in Reinforced Concrete Members*, In *University of Illinois at Urbana-Champaign*, <https://doi.org/10.1515/9780824887346-023>
- Islam, M., 2016, *Perbandingan Analisis Kolom dengan Metode Analitis dan Metode Beda Hingga Kasus Kolom dengan Dimensi 300x300 mm<sup>2</sup>,  $F'c = 20$  MPa,  $f_y = 400$  Mpa,  $A_s + A_s' = 1\%$   $A_g$* , *ASCE Journals*, 8 (Inersia: Jurnal Teknik Sipil), 10.
- Propika, J., Fitriyah, D. K., & Septiarsilia, Y., 2020, *Analisa Perbandingan Kolom Komposit Inside Steel dan Outside Steel terhadap Kapasitas Tahanan Aksial dan Momen*. *Reka Buana* :

Analisis Kekuatan Kolom Komposit Terbungkus Beton Berpenampang Bundar Terhadap Kapasitas Tahanan Aksial dan Momen dengan Metode Beda Hingga

- Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 5(2),  
Standar Nasional Indonesia, 2019, SNI 1847:2019: *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan Penjelasan*. Jakarta.  
Standar Nasional Indonesia, 2020, SNI 1729:2020: *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta.  
Sugianti, S., 2020, *Analisis Kekuatan Kolom Komposit Terisi Beton Dengan Metode Beda Hingga dan Metode Analitis Berdasarkan Peraturan American Institute of Steel Construction (AISC)*, Skripsi Teknik Sipil Universitas Bengkulu.