

PERBANDINGAN DEFLEKSI MAKSIMUM BALOK KANTILEVER DENGAN BEBAN TERPUSAT MENGGUNAKAN METODE ANALITIK, ELEMEN HINGGA, DAN SAP2000

Anju Faber Mario Sidabutar¹, Samsul Abdul Rahman Sidik Hasibuan^{2*}

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area, samsulrahman@staff.uma.ac.id

ABSTRAK

Balok kantilever merupakan elemen struktural yang banyak digunakan dalam konstruksi bangunan dan infrastruktur, terutama pada bagian yang mengalami beban berlebih di ujung bebasnya. Salah satu aspek penting dalam analisis struktur ini adalah defleksi maksimum yang terjadi akibat pembebanan. Ketelitian dalam menghitung defleksi sangat penting karena berkaitan langsung dengan keamanan dan kenyamanan struktur. Penelitian ini bertujuan membandingkan hasil perhitungan defleksi maksimum balok kantilever dengan beban terpusat menggunakan tiga pendekatan berbeda, yaitu metode analitik, metode elemen hingga berbasis matriks kekakuan, dan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak SAP2000. Model balok yang digunakan memiliki panjang, beban, dan sifat material yang sama pada ketiga metode. Pada pendekatan elemen hingga, pemodelan dilakukan dengan 20 elemen untuk memperoleh hasil yang mendekati kondisi kontinu. Hasil dari ketiga metode dibandingkan guna mengevaluasi tingkat akurasi dan efisiensi masing-masing pendekatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa defleksi maksimum yang diperoleh dari metode analitik sebesar 20,00 mm, metode matriks kekakuan sebesar 17,20 mm, dan SAP2000 sebesar 16,78 mm. Perbedaan hasil ini disebabkan oleh tingkat diskretisasi pada pemodelan elemen hingga dan pendekatan numerik dalam perangkat lunak. Semakin tinggi jumlah elemen yang digunakan, hasil yang diperoleh semakin mendekati metode analitik. Disparitas yang relatif kecil antara hasil metode elemen hingga dan SAP2000 menunjukkan keandalan pemodelan numerik dalam analisis struktur. Kesimpulannya, seluruh metode memberikan hasil yang konsisten dengan tingkat perbedaan yang dapat diterima dalam praktik rekayasa. Metode elemen hingga dan SAP2000 terbukti efektif sebagai alternatif analitik dalam kasus struktur yang lebih kompleks.

Kata kunci : *balok kantilever, defleksi maksimum, metode analitik, elemen hingga, SAP2000*

Penerbit : Fakultas Teknik Universitas Pasifik Morotai

1 PENDAHULUAN

Struktur balok kantilever banyak dijumpai dalam berbagai elemen bangunan seperti kanopi, balkon, serta bagian dari jembatan dan gedung bertingkat. Perilaku deformasi atau defleksi dari balok jenis ini sangat dipengaruhi oleh gaya eksternal dan karakteristik materialnya [1]. Salah satu parameter penting dalam analisis struktur adalah defleksi maksimum, karena berkaitan langsung dengan kenyamanan dan keselamatan struktur [2].

Secara khusus, perhitungan defleksi balok dapat dilakukan dengan berbagai pendekatan, antara lain metode analitik, metode numerik berbasis elemen hingga, dan perangkat lunak analisis struktur seperti SAP2000 [3], [4]. Setiap pendekatan memiliki kelebihan dan keterbatasan masing-masing, terutama dari segi akurasi dan kompleksitas komputasi [5], [6]. Metode analitik menawarkan solusi eksak namun terbatas pada kondisi ideal

dan geometri sederhana [7], [8], sedangkan metode numerik seperti matriks kekakuan mampu menyelesaikan struktur kompleks dengan pendekatan diskretisasi [9]. SAP2000 merupakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga yang banyak digunakan dalam praktik rekayasa karena keandalannya dalam memodelkan dan menganalisis struktur dengan beban dan kondisi batas yang bervariasi [10], [11].

Urgensi penelitian ini terletak pada perlunya verifikasi silang antar metode untuk memperoleh hasil defleksi yang andal. Ketidakesesuaian hasil antar metode dapat memengaruhi pengambilan keputusan dalam desain struktur [12]. Selain itu, pemilihan jumlah elemen pada metode numerik berpengaruh besar terhadap hasil defleksi, sehingga dibutuhkan pengujian lebih lanjut terhadap pengaruh mesh refinement [13].

Kebaruan (novelty) dari penelitian ini adalah adanya perbandingan langsung antara tiga pendekatan utama — analitik, metode matriks kekakuan dengan 20 elemen, dan simulasi SAP2000— untuk mengetahui kedekatan hasil defleksi maksimum balok kantilever akibat beban terpusat [14].

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membandingkan hasil defleksi maksimum yang diperoleh dari ketiga metode tersebut serta memberikan rekomendasi terhadap pendekatan yang paling efektif untuk digunakan pada kasus serupa [15], [16].

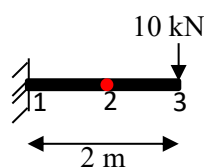
2 METODE

Penelitian ini dilakukan untuk membandingkan nilai defleksi maksimum pada balok kantilever dengan beban terpusat di ujung bebas menggunakan tiga pendekatan, yaitu metode analitik, metode matriks kekakuan, dan pemodelan numerik menggunakan SAP2000. Objek struktur yang digunakan adalah sebuah balok kantilever homogen dengan panjang 2 meter, penampang persegi $0,1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$, modulus elastisitas (E) sebesar 200 GPa, serta beban terpusat sebesar 10 kN yang diberikan pada ujung bebas. Deskripsi lengkap struktur ditampilkan pada Tabel 1, sedangkan skema pembebanan divisualisasikan dalam Gambar 1.

Tabel 1 menunjukkan parameter geometri dan material dari balok yang digunakan dalam studi ini, yang akan diterapkan secara seragam untuk ketiga metode analisis. Adapun dalam Gambar 1, balok ditumpu jepit di salah satu ujung dan diberi beban vertikal ke bawah pada ujung lainnya, sesuai karakteristik kantilever klasik.

Tabel 1. Deskripsi struktur balok yang digunakan

Parameter	Nilai
Panjang balok (L)	2 meter
Penampang	$0,1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$
Modulus Elastisitas (E)	200 GPa
Beban terpusat (P)	10 kN



Gambar 1. Ilustrasi balok kantilever dengan beban terpusat di ujung bebas

Metode pertama yang digunakan adalah pendekatan analitik, di mana rumus teoritis dari mekanika teknik digunakan untuk menghitung defleksi maksimum balok. Defleksi maksimum δ_{max} pada balok kantilever akibat beban terpusat P di ujung bebas diberikan oleh Persamaan (1).

$$\delta_{max} = \frac{PL^3}{3EI} \quad (1)$$

di mana L adalah panjang balok, E adalah modulus elastisitas, dan I adalah momen inersia penampang balok. Untuk penampang persegi panjang, I dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$I = \frac{bh^3}{12} \quad (2)$$

dengan b dan h masing-masing merupakan lebar dan tinggi penampang balok.

Metode kedua adalah metode matriks kekakuan elemen hingga. Pada pendekatan ini, balok dibagi menjadi 20 elemen batang (beam elements), dan matriks kekakuan global disusun berdasarkan formulasi elemen balok Euler-Bernoulli. Gaya-gaya nodal eksternal dimasukkan dalam vektor beban, dan sistem persamaan linear diselesaikan untuk memperoleh nilai perpindahan. Software spreadsheet digunakan untuk membantu kalkulasi numerik dalam metode ini.

Metode ketiga menggunakan software SAP2000, di mana pemodelan balok dilakukan dalam domain 2D dengan parameter struktur yang sama seperti dua metode sebelumnya. SAP2000 menggunakan pendekatan numerik berbasis metode elemen hingga, dan pada struktur balok, SAP2000 secara default mengimplementasikan formulasi Timoshenko beam, yang mempertimbangkan efek geser lintang sehingga hasil perhitungan defleksi bisa berbeda dengan metode analitik klasik (Euler-Bernoulli) yang mengabaikan efek tersebut.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis defleksi maksimum pada balok kantilever yang dikenai beban terpusat di ujung bebas menunjukkan adanya variasi nilai yang signifikan antara metode analitik, metode elemen hingga, dan perangkat lunak SAP2000. Analisis dilakukan terhadap balok dengan panjang 2 meter, penampang persegi $0,1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$, modulus elastisitas 200 GPa, dan beban terpusat sebesar 10 kN.

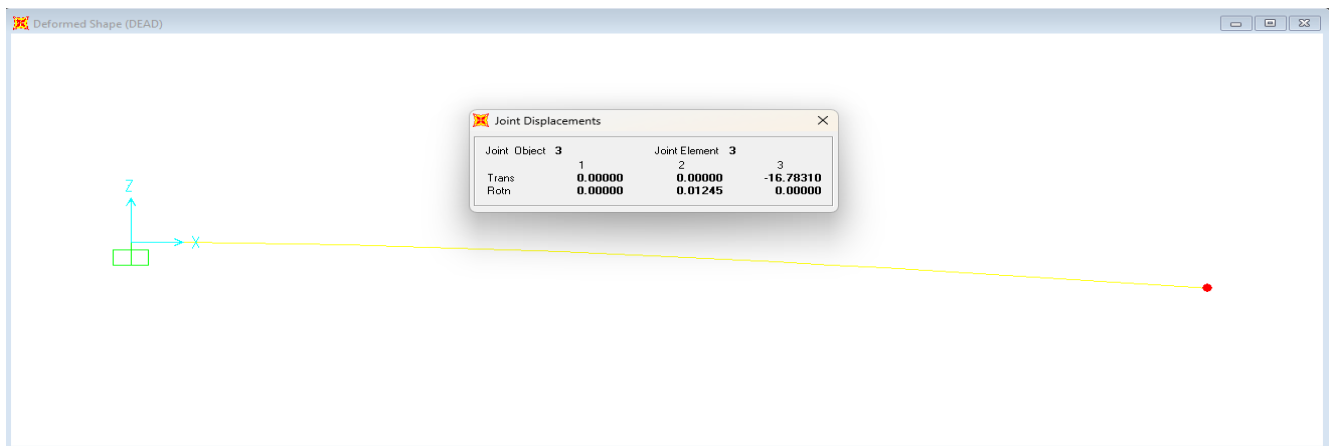
Perhitungan secara analitik menggunakan rumus klasik balok Euler-Bernoulli menghasilkan nilai defleksi maksimum sebesar 20,00 mm. Sementara itu, metode elemen hingga berbasis matriks kekakuan dengan pembagian 20 elemen menghasilkan defleksi maksimum sebesar 17,20 mm. Adapun hasil pemodelan menggunakan perangkat lunak SAP2000 diperoleh nilai defleksi sebesar 16,78 mm. Perbandingan hasil dari ketiga metode tersebut disajikan dalam Tabel 2. Model visualisasi deformasi dari hasil analisis SAP2000 ditampilkan pada Gambar 2.

Perbedaan nilai defleksi dari masing-masing metode disebabkan oleh pendekatan teoritis dan numerik yang digunakan. Metode analitik mengasumsikan deformasi berdasarkan teori balok Euler-Bernoulli, yang

mengabaikan efek geser. Hal ini cenderung memberikan hasil yang lebih besar karena menganggap bahwa penampang tetap tegak lurus terhadap sumbu netral.

Tabel 2. Perbandingan Defleksi Maksimum Balok Kantilever

Metode	Defleksi Maksimum (mm)
Analitik	20,00
Elemen Hingga (20 elemen)	17,20
SAP2000	16,78



Gambar 2. Hasil deformasi balok kantilever menggunakan SAP2000

Perbedaan nilai defleksi dari masing-masing metode disebabkan oleh pendekatan teoritis dan numerik yang digunakan. Metode analitik mengasumsikan deformasi berdasarkan teori balok Euler-Bernoulli, yang mengabaikan efek geser. Hal ini cenderung memberikan hasil yang lebih besar karena menganggap bahwa penampang tetap tegak lurus terhadap sumbu netral.

Sementara itu, metode elemen hingga dengan pendekatan numerik mempertimbangkan pembagian struktur menjadi elemen diskret dan menyelesaikan sistem persamaan kekakuan, yang lebih mendekati kondisi aktual. Semakin banyak elemen yang digunakan, semakin tinggi pula akurasi hasilnya. Namun, perbedaan tetap muncul karena metode ini telah memperhitungkan pengaruh deformasi geser secara tidak langsung.

Adapun SAP2000, sebagai perangkat lunak berbasis metode elemen hingga, umumnya mengimplementasikan teori balok Timoshenko, yang memperhitungkan efek geser dan rotasi penampang. Oleh karena itu, hasil yang diperoleh dari SAP2000 cenderung lebih realistis dan konservatif dibandingkan metode lainnya.

Secara umum, perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa pemilihan metode analisis harus disesuaikan dengan tingkat akurasi yang diharapkan dan kompleksitas permasalahan struktur yang dianalisis.

4 KESIMPULAN

Penelitian ini membandingkan hasil defleksi maksimum pada balok kantilever akibat beban terpusat di ujung bebas menggunakan tiga pendekatan, yaitu metode analitik, metode matriks kekakuan dengan pembagian 20 elemen, dan pemodelan numerik melalui perangkat lunak SAP2000. Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa metode analitik memberikan hasil defleksi maksimum sebesar 20,00 mm, metode matriks kekakuan

menghasilkan defleksi sebesar 17,20 mm, sedangkan pemodelan SAP2000 menghasilkan nilai defleksi sebesar 16,78 mm. Perbedaan hasil tersebut disebabkan oleh kompleksitas pendekatan masing-masing metode. Metode analitik menggunakan model Euler-Bernoulli yang mengabaikan efek geser, sedangkan metode matriks kekakuan dan SAP2000 secara implisit mempertimbangkan deformasi geser sesuai teori balok Timoshenko. SAP2000 juga memperhitungkan pengaruh numerik dari pembagian elemen hingga mesh yang lebih halus. Oleh karena itu, semakin kompleks dan mendekati kondisi realistik suatu metode, semakin kecil nilai defleksi yang dihasilkan. Hasil ini menunjukkan bahwa pemilihan metode analisis sangat memengaruhi akurasi hasil perhitungan, terutama dalam kajian struktur yang membutuhkan presisi tinggi. Untuk aplikasi praktis dan perancangan struktur yang lebih akurat, disarankan menggunakan pendekatan numerik dengan pemodelan berbasis elemen hingga seperti SAP2000.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. P. Timoshenko and D. H. Young, *Elements of Strength of Materials*, 5th ed. New York: Van Nostrand Reinhold, 1968.
- [2] O. A. Pala'biran, R. S. Windah, dan R. Pandaleke, "Perhitungan Lendutan Balok Taper Kantilever Dengan Menggunakan SAP2000," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 7, no. 8, pp. 1039–1048, 2019.
- [3] M. B. Palungan, D. Dayera, dan M. Fatem, "Analisa Balok Kantilever Dengan Beban Tidak Terbagi Merata," *JEECAE (Journal of Electrical, Electronics, Control, and Automotive Engineering)*, vol. 6, no. 2, pp. 51–55, 2021.
- [4] T. Handayani dan Y. Irawadi, "Analisis Lendutan Balok Beton Secara Eksperimental dan Metode Elemen Hingga Sesuai SNI 2847:2013," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, 2019.
- [5] S. Fansuri, D. Deshariyanto, dan A. I. N. Diana, "Perbandingan Model Struktur Menggunakan Metode Matriks dengan Program SAP2000," *Jurnal Ilmiah MITSU*, vol. 9, no. 2, pp. 139–148, 2021.
- [6] F. Novitasari, *Studi Komparasi Perhitungan Struktur Gedung Menggunakan Metode System Analysis Program 2000*, Tesis Doktor, Universitas Islam Balitar, 2024.
- [7] Y. A. Pranata, "Teknik Simulasi Untuk Memprediksi Keandalan Lendutan Balok Statis Tertentu," *Prosiding National Civil Engineering Conference*, pp. 43–52, 2006.
- [8] L. Kristanto dan M. Iqbal, "Analisis Kekuatan Struktur Pasca Retrofitting pada Kerusakan Struktur Balok Beton Bertulang," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 12, no. 1, 2023.
- [9] A. Annisa, "Perbandingan Beban Gempa Rencana Hasil Analisis Menggunakan Metode Statik Ekuivalen dan Respon Spektrum Berdasarkan SNI 1726-2012," *Jurnal Sains dan Teknologi Tadulako*, vol. 6, no. 1, pp. 33–47, 2020.
- [10] D. Syahfitri, *Perbandingan Kinerja Struktur Gedung Sekolah Maitreya Wira dengan Menggunakan Software SAP2000 dan ETABS*, Tesis, 2024.
- [11] L. Ritonga, *Perhitungan Struktur Dengan Menggunakan SAP2000 Pada Proyek Pembangunan Klinik Building Medan*, Tesis, Universitas Medan Area, 2023.
- [12] S. Desiyani, *Analisis Perilaku Sistem Flat Slab-Drop Panel Dengan Balok Semu Terhadap Gaya Lateral Pada Struktur Basement*, Tesis, Universitas Negeri Jakarta, 2018.
- [13] A. Setiawan dan D. A. Prasetyo, *Perencanaan Struktur Gedung Bertingkat Menggunakan SAP2000*, Tesis, Fakultas Teknik, UNDIP, 2009.
- [14] M. Idris, "Analisis Dinamis Perletakan Sendi Plastis pada Portal Gedung Bertingkat 12 dengan Menggunakan Base Isolation," *Jurnal Teknik Sipil*, 2002.
- [15] S. A. R. S. Hasibuan, F. Azmi, dan Y. Anisa, "Studi Perbandingan Analisis Struktur Balok Menggunakan Aplikasi Berbasis Android dan SAP2000," *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 23–33, 2022.

- [16] S. A. R. S. Hasibuan dan A. A. Qolby, "Solution of Beam Structure Analysis Using SAP2000," *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*, vol. 11, no. 1, 2023.