

PENGEMBANGAN APLIKASI OPTIMASI PENAMPANG KOLOM BETON BERTULANG MENGUNAKAN PYTHON

BERNAT AHMAD PATRIA SYAFIUDIN¹, KAMALUDIN²

¹Mahasiswa, Program Studi Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)

²Dosen, Program Studi Teknik Sipil (Institut Teknologi Nasional Bandung)

Email : bernatahmad28@gmail.com

ABSTRAK

Desain kolom beton bertulang yang efisien memerlukan optimasi dimensi dan tulangan untuk mengurangi biaya material sambil mempertahankan kekuatan struktur. Penelitian ini mengembangkan aplikasi Python dengan GUI Flet untuk analisis dan optimasi otomatis penampang kolom beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2019. Aplikasi dilengkapi fitur perhitungan kapasitas nominal, visualisasi diagram interaksi, dan tata letak tulangan dengan analisis biaya material real-time. Optimasi menggunakan pendekatan iteratif brute-force untuk mengevaluasi kombinasi dimensi dan konfigurasi tulangan. Pengujian dilakukan pada lima studi kasus pembebanan toren air dengan validasi menggunakan SpColumn. Hasil penelitian menunjukkan aplikasi menghasilkan desain kolom dengan distribusi tulangan simetris, rasio kapasitas mendekati 1, dan validasi akurasi tinggi (selisih 0,38%-2,15% terhadap SpColumn). Analisis ekonomis menunjukkan variasi biaya material Rp 141.378 hingga Rp 1.563.529, dengan desain optimal kolom 340×340 mm (8D22) memberikan solusi cost-effective sebesar Rp 1.306.088 untuk desain universal. Aplikasi ini dapat menjadi alat bantu yang mengintegrasikan aspek struktural dan ekonomis dalam perencanaan kolom beton bertulang.

Kata Kunci: optimasi struktur, Python, SpColumn, iterasi, pengembangan

1. PENDAHULUAN

Kolom merupakan elemen struktural yang berfungsi menyalurkan beban dari elemen atas ke pondasi, sehingga stabilitas dan kekuatan bangunan sangat dipengaruhi oleh desain dan dimensinya. Kolom beton bertulang banyak digunakan pada konstruksi karena mampu menahan beban aksial dan momen lentur, namun memerlukan perencanaan yang tepat agar memenuhi syarat kekuatan dan kestabilan. Optimasi penampang kolom beton bertulang bertujuan memperoleh kombinasi dimensi dan jumlah tulangan yang optimal. Hal ini penting dalam industri konstruksi karena dapat mengurangi biaya material sekaligus meningkatkan efisiensi struktur bangunan. Seiring dengan perkembangan teknologi komputasi, penggunaan perangkat lunak dalam optimasi struktur semakin berkembang. Salah satu bahasa pemrograman yang banyak digunakan adalah Python karena sintaksnya sederhana, fleksibel, dan memiliki pustaka numerik yang mendukung analisis serta optimasi. Dengan pendekatan iteratif, berbagai parameter desain dapat dievaluasi secara sistematis hingga diperoleh hasil yang optimal. Untuk mempermudah proses optimasi, penelitian ini mengembangkan aplikasi dengan antarmuka grafis (GUI) berbasis pustaka Flet. GUI memudahkan pengguna dalam memasukkan parameter, menampilkan hasil optimasi, serta menganalisis berbagai skenario desain secara interaktif.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan metode optimasi penampang kolom beton bertulang menggunakan Python dengan pendekatan iteratif yang terintegrasi dengan GUI berbasis Flet, sehingga dapat mempermudah proses desain struktur sekaligus mengoptimalkan penggunaan material konstruksi secara ekonomis.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh dasar teori mengenai optimasi penampang kolom beton bertulang, yang mencakup desain kapasitas penampang, kombinasi pembebanan sesuai SNI 2847:2019, metode optimasi struktur, serta pemrograman aplikasi menggunakan bahasa Python. Sumber-sumber literatur diperoleh dari buku, jurnal ilmiah, standar peraturan, dan hasil penelitian terdahulu yang relevan.

2.2 Objek Penelitian

Objek penelitian berupa kolom beton bertulang di pusat pelat $4\text{m} \times 4\text{m}$ dengan empat reservoir toren air 5000 liter di tiap sudut. Kolom dirancang menahan beban aksial dan momen dengan variasi skenario pembebanan.

2.3. Analisis Kapasitas Kolom Beton Bertulang

Analisis kapasitas kolom dilakukan berdasarkan kompatibilitas regangan SNI 2847:2019 dengan regangan beton maksimum $\epsilon_c = 0,003$. Kapasitas aksial nominal (P_n) dihitung dari keseimbangan gaya beton dan tulangan, sedangkan momen nominal (M_n) dari keseimbangan momen terhadap pusat penampang. Proses iteratif digunakan untuk menentukan posisi bidang netral yang memenuhi keseimbangan dengan faktor reduksi (ϕ).

2.4. Metode Optimasi Struktur

Optimasi menggunakan pendekatan *brute-force* dengan evaluasi seluruh kombinasi dimensi penampang dan konfigurasi tulangan. Fungsi objektif adalah meminimalkan luas penampang dengan batasan rasio kapasitas ≤ 1 , dan rasio tulangan sesuai SNI.

2.5. Pembuatan Algoritma

Algoritma mengevaluasi setiap kombinasi secara sistematis yang menyeliputi validasi input, perhitungan bidang netral, regangan-tegangan tulangan, kapasitas nominal dengan faktor reduksi, dan pemilihan solusi optimal berdasarkan luas terkecil dengan rasio kapasitas terdekat 1.

2.6. Pengembangan Pembuatan Pemrograman

Aplikasi dikembangkan menggunakan Python dengan pustaka NumPy, Flet (GUI), Matplotlib (visualisasi), dan ReportLab (ekspor PDF). Program menghitung kapasitas nominal, melakukan optimasi iteratif, dan menyajikan hasil dalam bentuk diagram interaksi serta tata letak tulangan.

2.7. Uji Coba dan Validasi

Uji coba dilakukan untuk mengevaluasi apakah algoritma dan program yang telah dikembangkan mampu menghasilkan output yang akurat dan sesuai dengan standar yang diterapkan pada aplikasi pembandingan, yaitu SpColumn. Validasi bertujuan untuk menilai ketepatan hasil perhitungan dan hasil optimasi berdasarkan parameter input yang diberikan, serta memastikan bahwa pendekatan perhitungan dan optimasi bekerja.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

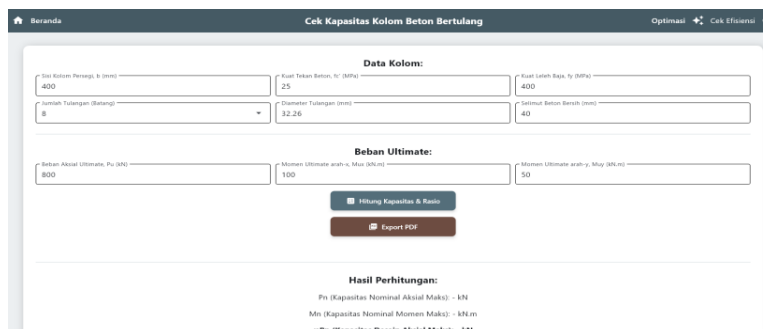
3.1. Implementasi Program Aplikasi Python

Penelitian ini akan menggunakan program aplikasi Python dengan antarmuka grafis menggunakan pustaka Flet yang akan dikembangkan serta bertujuan untuk menghitung kapasitas penampang kolom beton bertulang dan mengoptimalkan dimensi penampang secara efisien. Aplikasi terdiri dari empat halaman utama:

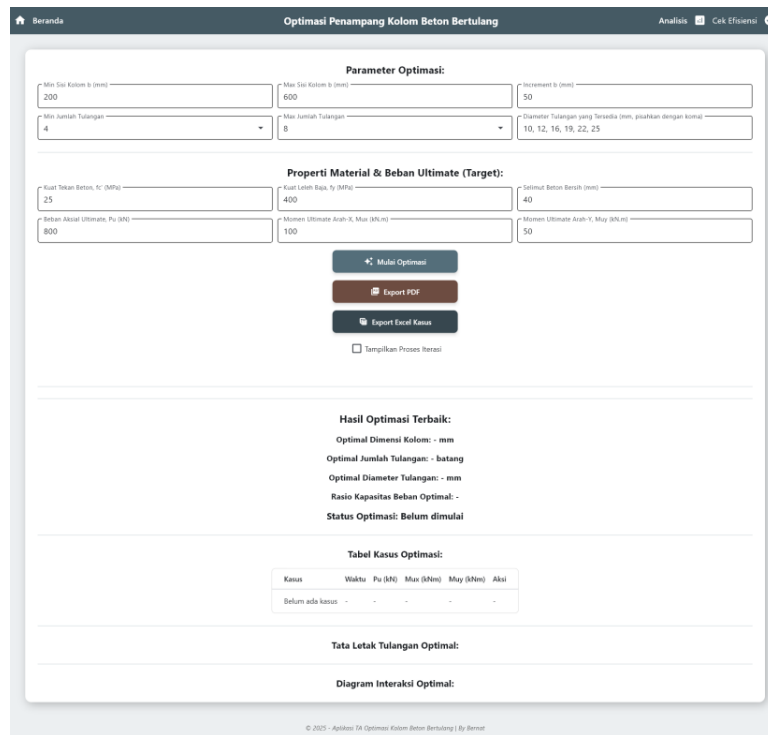
1. Halaman Beranda (**Gambar 1**)
2. Halaman Analisis dan Desain (**Gambar 2**)
3. Halaman Optimasi (**Gambar 3**)
4. Halaman Evaluasi Efisiensi (**Gambar 4**)



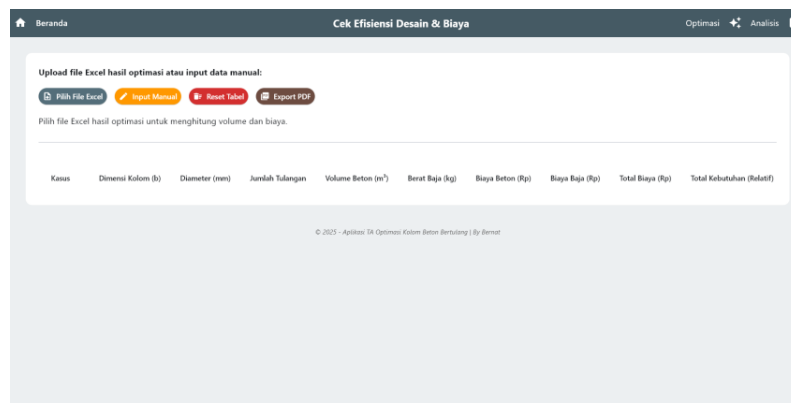
Gambar 1. Halaman Beranda



Gambar 2. Halaman Analisis dan Desain



Gambar 3. Halaman Optimasi



Gambar 4. Halaman Evaluasi Efisiensi

3.2. Hasil Validasi

Hasil validasi menunjukkan selisih perhitungan Python dengan SpColumn < 5%. Uji Validasi program dilakukan dengan membandingkan hasil kapasitas desain terhadap aplikasi komersial SpColumn. Perbandingan nilai ϕP_{nmax} , ϕP_{nmin} , dan ϕM_n ditunjukkan sebagai berikut.

Tabel 1. Perbandingan Hasil Selisih Python Dengan SpColumn

Nilai	Program Python	Aplikasi SpColumn	Selisih
ϕP_{nmax} (kN)	3910.13	3828	82.23

$\phi P_{n\min}$ (kN)	-2354.02	-2345	-9.02
$\phi M_{n\max}$ (kN.m)	322.86	317	5.86

Setelah dilakukannya Uji t berpasangan untuk mengevaluasi signifikansi perbedaan hasil. Perhitungan statistik menunjukkan $|t\text{-hitung}| = 0.93 < t\text{-kritis} = 4.303$, maka perbedaan hasil antara program Python dan SpColumn dinyatakan tidak signifikan secara statistik pada taraf signifikansi 5%. Persentase perbedaan maksimum sebesar 2.15% atau selisih 82.23, maka hasil validasi membuktikan bahwa algoritma yang dikembangkan menghasilkan perhitungan kapasitas kolom yang akurat dan dapat diandalkan untuk aplikasi praktis dalam desain struktur.

3.3. Studi Kasus

Studi kasus menggunakan kolom tunggal yang menopang pelat beton $4 \times 4 \times 0,15$ m dengan empat toren air berkapasitas 5000 liter di setiap sudut. Setiap toren penuh menghasilkan beban 49,05 kN. Model ini dipilih untuk merepresentasikan variasi pembebanan aktual yang menghasilkan kombinasi beban aksial dan momen dua arah. Deskripsi lima skenario pembebanan adalah sebagai berikut.

1. **Kasus 1:** Semua toren terisi penuh menghasilkan distribusi beban simetris dengan hanya beban aksial tanpa momen lentur.
2. **Kasus 2:** Dua toren terisi pada satu sumbu menciptakan beban asimetris yang menghasilkan momen lentur satu arah.
3. **Kasus 3:** Satu toren terisi di sudut pelat menghasilkan kondisi paling kritis dengan momen lentur dua arah dan eksentrisitas maksimum.
4. **Kasus 4:** Kondisi lentur murni satu arah tanpa beban aksial, mewakili pengaruh gaya lateral seperti angin atau gempa.
5. **Kasus 5:** Kondisi lentur murni dua arah tanpa beban aksial, merepresentasikan kombinasi gaya horizontal dari dua arah.

Tabel 2. Evaluasi Terhadap Lima Kasus

Kasus	P_u (kN)	M_{ux} (kNm)	M_{uy} (kNm)	Rasio Kapasitas	Dimensi Penampang (mm)	Diameter Tulangan (mm)	Jumlah Tulangan (batang)
1	253.8	0	0	0.90	120	10	4
2	155.7	98.1	0	0.97	320	19	8
3	106.65	69.16	69.16	0.99	340	22	8
4	0	0	98.1	0.98	310	19	8
5	0	69.16	69.16	0.99	320	25	8

Untuk melengkapi analisis teknis, dilakukan evaluasi aspek ekonomis dari setiap hasil optimasi dengan menggunakan harga material pasar Bandung tahun 2025. Analisis ini bertujuan menunjukkan efisiensi biaya yang dicapai melalui optimasi penampang kolom menggunakan aplikasi Python yang dikembangkan. Harga material yang digunakan dalam analisis berdasarkan survei pasar lokal adalah beton ready mix K300 ($f'_c = 25$ MPa) sebesar Rp 875.000/m³ dan besi beton ulir rata-rata Rp 14.000/kg. Perhitungan biaya material mencakup volume beton dan

berat tulangan dari setiap kasus optimasi.

Tabel 3. Analisis Ekonomis Material Kolom Beton Bertulang

Kasus	Dimensi Kolom (b)	Diameter (mm)	Jumlah Tulangan	Volume Beton (m ³)	Berat Baja (kg)	Biaya Beton (Rp)	Biaya Baja (Rp)	Total Biaya (Rp)	Total Kebutuhan (Relatif)
Manual-1	120.0	10.0	4	0.0432	7.4	37,800	103,578	141,378	0.0506
Manual-2	320.0	19.0	8	0.3072	53.42	268,800	747,835	1,016,635	0.3606
Manual-3	340.0	22.0	8	0.3468	71.62	303,450	1,002,638	1,306,088	0.4184
Manual-4	310.0	19.0	8	0.2883	53.42	252,262	747,835	1,000,098	0.3417
Manual-5	320.0	25.0	8	0.3072	92.48	268,800	1,294,729	1,563,529	0.3997

Evaluasi silang menunjukkan desain dari **Kasus 3** (kolom 340×340 mm, 8D22) sebagai solusi paling serbaguna. Meskipun bukan yang paling ringan, desain ini mampu menahan kondisi pembebanan paling kompleks dan dapat digunakan untuk semua variasi beban lainnya. Secara ekonomis, investasi material **Kasus 3** sebesar Rp 1.306.088 memberikan *cost-effectiveness* terbaik untuk desain universal. Program berhasil mengoptimalkan setiap kasus dengan rasio kapasitas mendekati 1, membuktikan efisiensi algoritma dalam menangani berbagai kondisi pembebanan kompleks dengan pertimbangan aspek teknis dan ekonomis secara terintegrasi.

4. KESIMPULAN

Algoritma Python yang dikembangkan berhasil menghitung kapasitas penampang kolom dan mengoptimalkan desain berdasarkan beban aksial dan momen lentur sesuai diagram interaksi. Program mampu menghasilkan desain kolom yang aman (rasio $\leq 1,0$) dan efisien secara struktural dengan validasi akurasi tinggi terhadap SpColumn (selisih 0,38%-2,15%). Desain optimal kolom 340×340 mm dengan 8D22 mampu menahan semua skenario pembebanan dengan biaya material Rp 1.306.088, memberikan solusi *cost-effective* untuk desain universal yang mengintegrasikan aspek struktural dan ekonomis.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Nasional Bandung atas dukungan pelaksanaan penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada dosen pembimbing Pak Kamaludin atas arahan dan bimbingan selama proses penelitian, serta pihak-pihak yang membantu pengembangan aplikasi Python dan validasi menggunakan perangkat lunak SpColumn.

DAFTAR RUJUKAN

- Standar Nasional Indonesia. (2019). *SNI 2847:2019 – Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Badan Standarisasi Nasional.
- Dipohusodo, I. (1991). *Struktur beton bertulang berdasarkan SK SNI T-15-1991-03*. Departemen Pekerjaan Umum RI.
- Nawi, E. (1998). *Beton bertulang: Suatu pendekatan dasar*. Eresco.
- Setiawan, A. (2016). *Perancangan struktur beton bertulang berdasarkan SNI 2847:2013*. Erlangga.
- Wu, P. (1986). *Structural optimization with nonlinear and discrete programming* (Doctoral dissertation). University Microfilm International.