



Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management

E-ISSN: 2986-0520

Journal homepage:

<https://journal.undiknas.ac.id/index.php/reinforcement/index>



Analisis Kapasitas *Box girder* Dengan Metode *Sectional Approach*

Intan Nuriskha Rachma^{a,*}, Fitriana Sarifah^b

^aUniversitas Siliwangi, Tasikmalaya

^bUniversitas Siliwangi, Tasikmalaya

*Corresponding author, email address: intan.nuriskha@unsil.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 31 Maret 2025

Revised: 7 April 2025

Accepted: 15 April 2025

Available Online: 30 April 2025

Kata Kunci:

Box girder, kapasitas, *sectional approach*, momen transversal

Keywords:

Box girder, capacity, *sectional approach*, transverse moment

ABSTRAK

Box girder merupakan salah satu elemen struktur yang banyak diterapkan dalam pembangunan jembatan bentang panjang. Pada kasus Jembatan Musi V, *box girder* mengalami kondisi istimewa dimana momen transversal yang terjadi cukup besar akibat asumsi *boundary rolled*, sehingga struktur berperilaku seperti kantilever. Untuk mengevaluasi kapasitas struktur dalam menahan momen transversal dan longitudinal, maka *box* dianalisis dengan pendekatan metode *sectional approach*. Analisis memperhitungkan pengaruh momen longitudinal dan transversal serta mempertimbangkan kontribusi tulangan dan tendon dalam menentukan kapasitas *box girder*. Dalam pemodelannya, analisis dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu linier dan nonlinier yang digambarkan berdasarkan materialnya. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan konfigurasi tulangan dan tendon yang sesuai dengan rencana maka dapat diketahui bahwa *box girder* mampu menahan momen transversal, dan momen longitudinal yang terjadi pada jembatan. Selain itu, dengan menggunakan metode *sectional approach*, dapat memberikan gambaran bahwa efek gaya prategang yang diberikan pada struktur berkontribusi terhadap berkurangnya kapasitas aksial tekan namun dapat meningkatkan kapasitas aksial tarik pada *box* jembatan.

ABSTRACT

The *box girder* is one of the structural elements that applied in the construction of long-span bridges. In the case of the Musi V Bridge, the *box girder* experiences a unique condition where the transverse moment is significantly high due to the *boundary rolled* assumption, causing the structure to behave like a cantilever. To evaluate the structural capacity in resisting both transverse and longitudinal moments, the *box girder* is analyzed using the *sectional approach* method. This analysis considers the influence of both longitudinal and transverse moments while also accounting for the contribution of reinforcement and tendons in determining the *box girder*'s capacity. In its modeling, the analysis is conducted using two approaches: linear and nonlinear, which are characterized based on the material properties. The results indicate that with the appropriate reinforcement and tendon configuration according to the design, the *box girder* can withstand the transverse and longitudinal moments occurring in the bridge. Furthermore, by employing the *sectional approach* method, it is observed that the *prestressing* force applied to the structure contributes to a reduction in axial compressive capacity but enhances the axial tensile capacity of the bridge's *box girder*.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

1 PENDAHULUAN

Segmental *box girder* merupakan salah satu elemen struktur yang sering digunakan dalam konstruksi jembatan bentang panjang yang pada umumnya terbuat dari beton bertulang[1]. Jembatan *box girder* digunakan pada bentang 100-300m dan dinilai lebih efisien dari segi struktural dan biaya[2]. *Box girder* telah banyak diterapkan dalam berbagai infrastruktur transportasi penting di Indonesia karena rongga pada komponen *box* mampu mengurangi berat struktur atas [3]. Penerapan struktur jembatan *box girder* di Indonesia dapat ditemukan pada berbagai proyek, seperti Pertemuan Jalan Mayor Alianyang, Jalan Soekarno-Hatta Kabupaten Kubu Raya, Simpang Susun Semanggi, Tol Layang A.P. Pettarani, Jembatan Musi V dan lain-lain [4].

Pada kasus jembatan Musi V, *box girder* pada arah transversal diasumsikan dengan *boundary rolled* dan mengakibatkan momen pada arah tersebut menjadi besar karena *box girder* bersifat kantilever. Untuk menahan momen akibat kondisi tersebut, maka dilakukan pengecekan kapasitas *box* secara biaksial karena *box* mendapat pengaruh akibat momen dua arah yaitu arah longitudinal dan transversal. Untuk menggambarkan kapasitas yang terjadi pada *box*, maka dilakukan identifikasi kapasitas biaksial dengan cara metode *sectional approach*, dimana tulangan dan tendon yang terpasang akan dipertimbangkan dalam penentuan kapasitas *box*[5]. Momen biaksial ini umum terjadi dalam berbagai struktur, termasuk pada jembatan [6].

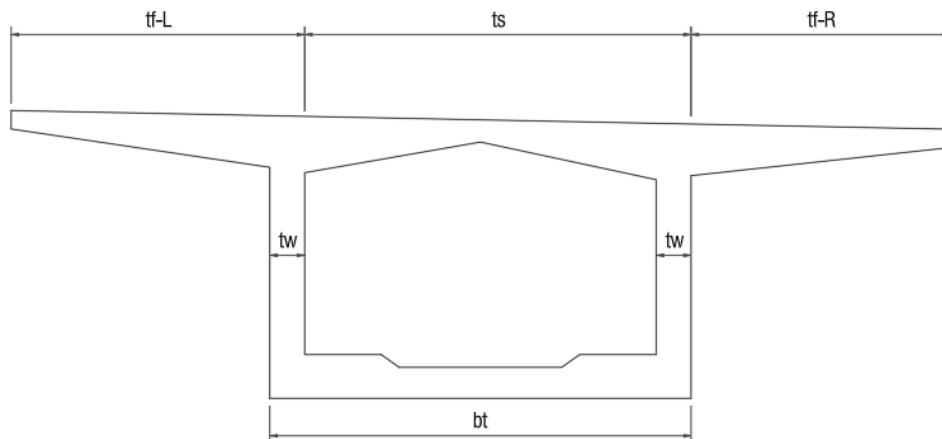
Secara pemodelan, *box* akan dimodelkan dengan dua pendekatan, diantaranya *box* dianalisis secara linier dan hanya mempertimbangkan tulangan utama/longitudinal, sedangkan dalam analisis secara nonlinier, *box* diperhitungkan dengan mempertimbangkan tulangan serta pengaruh *prestress* akibat tendon. Berdasarkan gambar rencana yang ada, tulangan yang terpasang pada *box* adalah tulangan dengan konfigurasi D19-200 (tulangan dengan diameter 19mm dengan jarak 200mm) dengan tendon 6-22. Angka 6 menunjukkan jumlah tendon yang direncanakan dan 22 adalah jumlah *strand* dalam setiap tendon.

Dengan menggunakan pendekatan analisis tersebut, maka dapat diketahui kapasitas *box* sehingga dapat mengurangi risiko kegagalan akibat momen yang bekerja. Pada dasarnya perencanaan harus dilakukan dengan menerapkan prinsip teknik yang sesuai [7]. Oleh karena itu, hasil analisis ini dapat dijadikan referensi dalam evaluasi struktur jembatan *box girder* dengan kondisi batas (*boundary*) yang serupa.

2 KAJIAN PUSTAKA

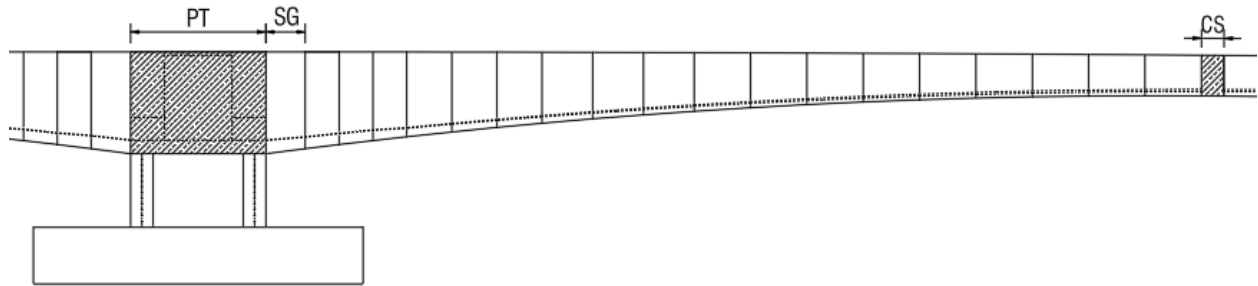
2.1 *Box girder*

Box girder merupakan elemen struktur beton dengan bentuk penampang kotak yang memiliki tulangan dan *strand* prategang. Struktur ini umumnya digunakan pada jembatan bentang panjang karena memiliki kemampuan untuk mengurangi berat sendiri tanpa kehilangan kekakuannya[8].



Gambar 1. Nomenklatur *box girder* pada arah transversal

Bagian utama dari penampang *box girder* terdiri dari slab bawah (bt), dinding *web* (tw), slab atas (ts), dan *cantilever wing* (tf-L&tf-R). Secara metode konstruksi, segmental *box girder* dirakit di lapangan dimana setiap segmen (SG) akan disambungkan dengan tendon *post-tensioning*. Segmen yang dekat dengan posisi pilar disebut dengan *pier table* (PT). Segmen ini berfungsi sebagai penopang untuk balok *girder* utama. *Pier table* dirancang untuk mendistribusikan beban dari girder ke pilar dan dapat menjadi titik awal untuk pemasangan segmen pertama. Pada arah longitudinal jembatan, *box girder* memiliki bentuk yang melengkung mengikuti konsep parabola dengan tinggi setiap segmen yang semakin mengecil sampai ke bagian segmen *closure* (CS) di tengah bentang jembatan[9].



Gambar 2. Jembatan *box girder* arah longitudinal

2.2 Beton Prategang

Beton prategang merupakan beton bertulang yang diberikan tegangan awal guna mengurangi tegangan tarik yang timbul akibat beban yang bekerja[10]. Proses penarikan ini menciptakan keseimbangan tegangan internal, di mana baja mengalami tarik dan beton mengalami tekan, sehingga dapat meningkatkan kapasitas beton [11]. Secara sistem, komponen prategang dirancang berdasarkan kekuatan serta perilaku struktur pada kondisi layan [12]. Sebuah penampang *box* yang dikenai gaya aksial (P) serta momen biaksial M_x dan M_y dalam sistem sumbu x - y , diasumsikan bahwa baja didistribusikan dalam penampang sedemikian rupa sehingga titik asal sistem sumbu x - y juga merupakan pusat plastis[13].

2.3 Baja Prategang

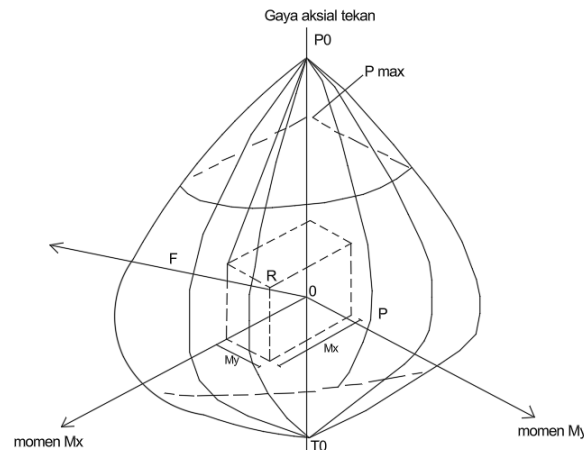
Baja yang digunakan sebagai elemen prategang pada *prestress* memiliki mutu sangat tinggi [14]. Baja prategang dapat berbentuk kawat tunggal atau *strand*, dimana untuk kuat nominal leleh berdasarkan ASTM A416-06 grade 270 memiliki nilai sebesar 1676MPa sedangkan untuk kuat nominal tariknya sebesar 1860MPa [15]. *Strand* pada umumnya terdiri dari dua diameter yaitu 15mm (0.6") dan 13mm (0.5").

2.4 Material Unconfined

Material *Unconfined* merupakan material beton yang menggambarkan tidak adanya kekakuan sehingga beton tidak mampu mencapai regangan ultimit yang lebih panjang[16]. Kekakuan pada beton didapatkan dari tulangan arah transversal (sengkang) yang berbentuk persegi atau spiral tergantung penampang betonnya[17]. Pada pemodelan, material *unconfined* digunakan untuk menggambarkan regangan pada selimut beton atau material beton yang tidak menggunakan tulangan transversal.

2.5 Diagram Interaksi Kolom

Secara numerik, bidang interaksi biaksial disusun dari serangkaian titik diskret yang membentuk suatu bidang runtuh. Untuk menganalisis penampang kolom yang mengalami momen biaksial (M_x , M_y) maka dapat dianalisis sebagai penampang yang mengalami momen resultante (M_R) dengan penampang yang berputar.



Gambar 3 . Geometrik rasio kapasitas kolom [18]

Nilai momen dan aksial (P-M) didapat dari berbagai macam kondisi beban. Nilai tersebut akan diplotkan kedalam suatu diagram. Diagram tersebut menggambarkan hubungan antara momen (M) pada sumbu-x dan beban aksial (P) pada sumbu-y, sehingga memberikan visualisasi mengenai kapasitas kekuatan elemen kolom. Selanjutnya untuk pasangan P-M ultimit diplotkan kedalam diagram untuk dinilai apakah elemen kolom dapat menahan beban ultimit yang terjadi. Jika pasangan nilai P-M berada di luar dari nilai kapasitas $\phi M_n - \phi P_n$, maka elemen tersebut dapat dianggap tidak mampu menahan beban ultimit yang bekerja [19].

3 METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Proyek Jembatan Musi V[20]. Kapasitas *box* dianalisis secara linier dan nonlinier. Untuk memodelkan analisis linier, digunakan bantuan *software* PCA-Col sedangkan untuk analisis nonlinier digunakan bantuan *software* XTRACT. Analisis linier dibagi menjadi dua skema. Skema1, diagram interaksi P-M dianalisis hanya berdasarkan konfigurasi tulangan yang terpasang pada *box* dengan konfigurasi D19-200. Skema2, diagram interaksi P-M dianalisis berdasarkan konfigurasi tulangan D19-200 dan tendon dimana tendon akan dikonversi menjadi tulangan dengan asumsi f_y tendon setara dengan empat kali f_y tulangan. Sedangkan untuk analisis nonlinier dibagi menjadi dua skema. Skema3, analisis nonlinier dimana diagram interaksi P-M hanya dianalisis berdasarkan konfigurasi tulangan yang terpasang pada *box* (D19-200). Skema4, analisis nonlinier dimana diagram interaksi P-M dianalisis berdasarkan konfigurasi tulangan (D19-200) dan tendon (6-22). Selanjutnya untuk mempersingkat label pada tabel analisis skema1 akan ditulis menjadi S1, skema2 ditulis menjadi S2, skema3 ditulis menjadi S3 dan skema4 ditulis menjadi S4.

Tabel 1. Skema perbandingan kapasitas *box*

Skema	Tipe	Beton $f_c' \text{ 40MPa}$	Tulangan	Tendon
1	Linier	<i>Unconfined</i>	D19	-
2	Linier	<i>Unconfined</i>	D19	$6-22 = 4f_y$ (tulangan)
3	Nonlinier	<i>Unconfined</i>	D19	-
4	Nonlinier	<i>Unconfined</i>	D19	$6-22 = 0,6f_{pu}$ (tendon)

S1&S3 bertujuan untuk melihat perbandingan kapasitas *box* akibat adanya tulangan. S1&S2 bertujuan untuk melihat efek area transformasi tendon secara linear. S2&S4 bertujuan untuk melihat kapasitas *box* akibat tulangan dan tendon secara nonlinier. Untuk menggambarkan kapasitas akibat momen biaksial, maka gaya dalam eksternal ($M_x - M_y$) yang terjadi pada *box* akan di plot ke dalam diagram interaksi (P- $M_x - M_y$) yang ditinjau sesuai potongan nilai aksial.

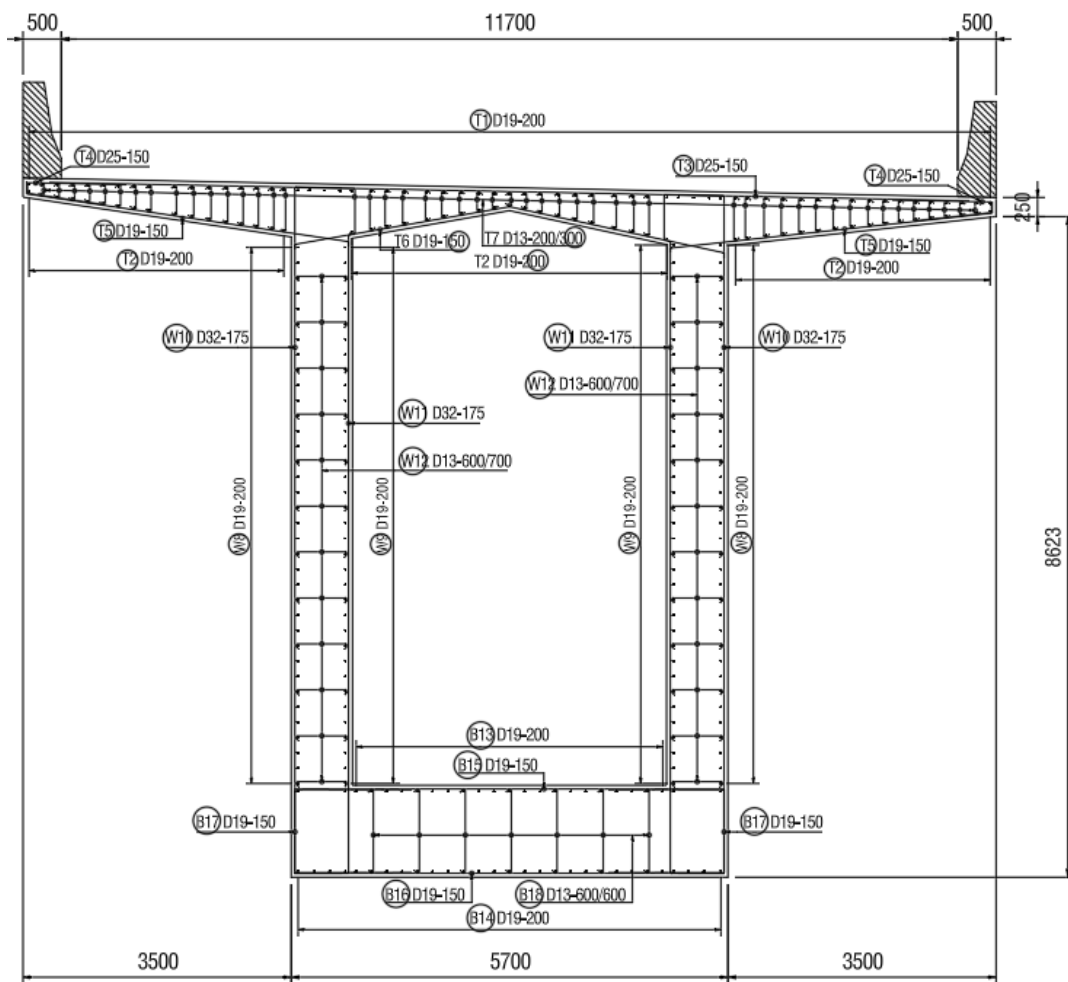
Diagram interaksi model linier dan nonlinier akan dibandingkan dengan gaya dalam maksimum akibat kombinasi Ekstrim (akibat pengaruh gempa) dan Kuat (pembebanan yang timbul pada jembatan dalam keadaan normal) [21]. Kombinasi Ekstrim terdiri dari beban mati sendiri, beban mati tambahan, beban

prategang, beban suhu, beban truk, beban rem, temperatur dan beban gempa. Sedangkan untuk kombinasi Kuat terdiri dari pembebanan mati sendiri, beban mati tambahan, beban prategang, beban suhu, beban truk, beban rem, temperatur, dan angin tanpa adanya beban gempa. Untuk gaya dalam pada analisis ini, di ambil pada bagian *box* dekat *pier table* karena segmen tersebut mengalami momen transversal terbesar dibandingkan dengan segmen lain. Berikut gaya dalam maksimum yang terjadi pada *box* akibat kombinasi tersebut

Tabel 2. Gaya dalam terbesar pada *box*

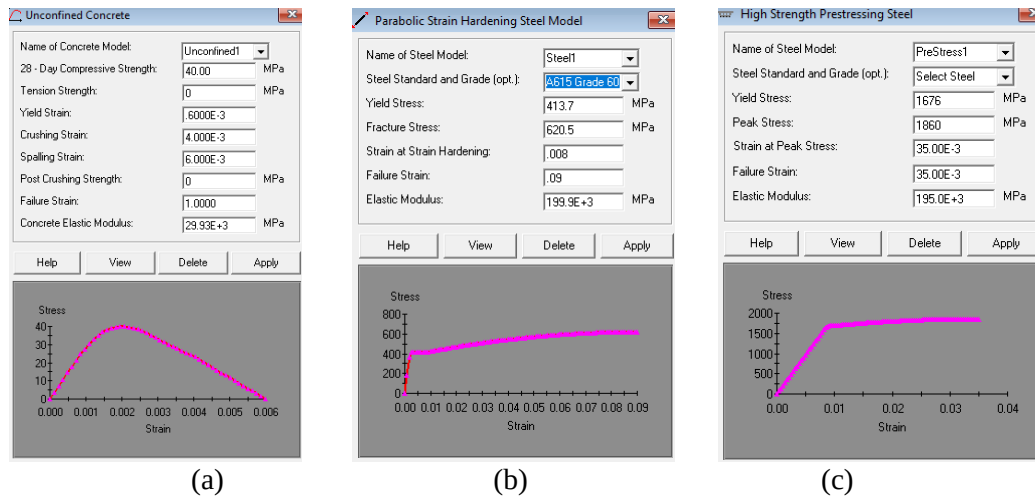
Gaya	Kombinasi	Pu (kN)	Mxx (kNm)	Myy (kNm)
Fz	Ekstrim	214130,6	433227,3	-123887,5
Mx	Ekstrim	228305,5	233336,6	116348,1
My	Kuat	293703,3	638923,6	-529660,4

Tabel diatas memuat informasi terkait gaya dalam maksimum yang terjadi pad *box girder* di segmen *pier table* dimana Fz merupakan nomenklatur untuk gaya aksial, My adalah momen arah longitudinal dan Mx merupakan momen arah transversal jembatan. Adapun gambar dimensi *box* dan konfigurasi tulangan sebagai berikut:



Gambar 4. Konfigurasi tulangan pada *box*

Selain itu, jenis material untuk pemodelan linier memiliki spesifikasi yang terdiri dari mutu beton $f_c' = 40\text{MPa}$ dan mutu tulangan $f_y = 400\text{MPa}$ [12]. Pada analisis nonlinier, material beton digambarkan sebagai material *unconfined* dan untuk material baja tulangan mempertimbangkan adanya faktor *strain hardening*[22]. Sedangkan untuk material *prestress* memiliki kuat leleh, $f_y = 1676\text{MPa}$ dan $f_u = 1860\text{MPa}$.

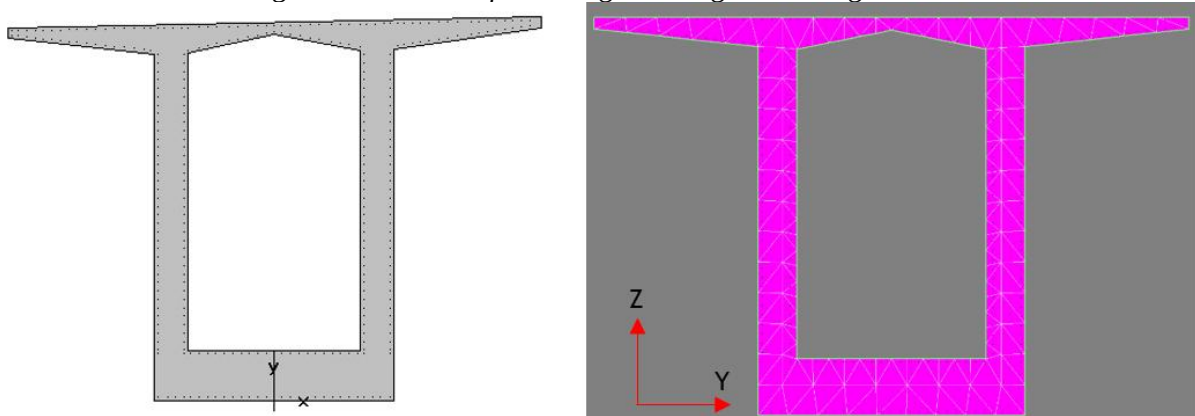


Gambar 5 Material pada pemodelan nonlinear. (a) material beton *unconfined*, (b) material baja dengan strain hardening, (c) material untuk *prestress*

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

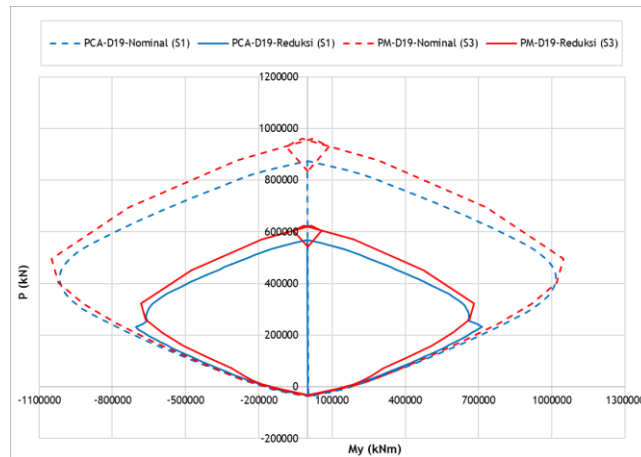
4.1 Model Linier Skema1 (S1) & Skema3 (S3)

S1 merupakan pemodelan dengan analisis linier dimana kapasitas *box* di tinjau berdasarkan diagram interaksi (P-M) akibat adanya tulangan yang terpasang pada *box* (D19-200) dengan kondisi material beton dan tulangan yang elastik. Sedangkan untuk S3 merupakan pemodelan dengan analisis nonlinear dimana beton di definisikan sebagai material *unconfined* dengan konfigurasi tulangan D19-200.



Gambar 6. Model skema1 di PCA-Col (kiri) dan model skema3 di XTRACT (kanan)

Kedua model menggambarkan kapasitas (P-My) *box* yang dipengaruhi oleh tulangan tanpa tendon. Berdasarkan hasil analisis linier pada PCA-Col maka rasio tulangan yang terjadi adalah 0,36%, adapun diagram interaksi (P-My) yang terjadi pada dua skema di atas adalah



Gambar 7. Nilai P-M untuk model S1 dan S3

Garis putus-putus merupakan kapasitas nominal sedangkan untuk garis tegas adalah kapasitas desain. PCA-D19-Nominal (S1) adalah model linier skema1 dengan tulangan D19 (PM nominal). PCA-D19-Reduksi (S1) adalah model linier skema1 dengan tulangan D19 (PM di reduksi). PM-D19-Nominal (S3) adalah model nonlinier pada skema3 dengan tulangan D19 (PM nominal) dan PM-D19-Reduksi (S3) adalah model nonlinier skema3 dengan tulangan D19 (PM di reduksi). Grafik di atas menunjukkan bahwa skema3 memiliki kapasitas nominal dan desain yang lebih besar dari skema1. Jika kapasitas *box* diperhitungkan berdasarkan tulangan yang terpasang, maka kapasitas aksial tekan lebih dominan dibandingkan aksial tarik.

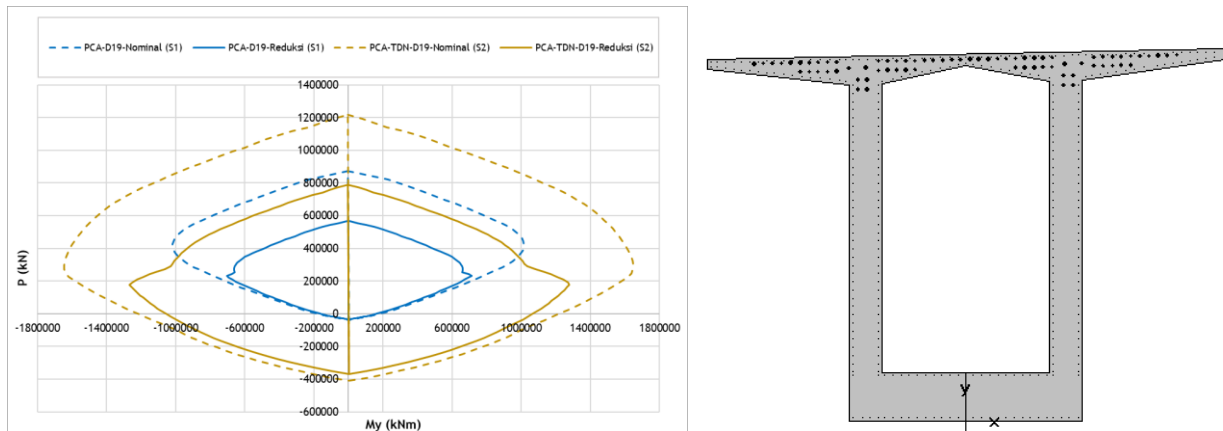
4.2 Model Linier Skema2 (S2) & Skema1 (S1)

S2 merupakan pemodelan dengan analisis linier dimana kapasitas *box* di tinjau berdasarkan diagram interaksi (P-My) akibat adanya tulangan dan tendon. Pada pemodelan linier, program tidak dapat mempertimbangkan efek *prestress*, sehingga tendon akan dikonversi menjadi tulangan dengan konsep sebagai berikut,

Tabel 3. Konversi tendon 6-22 menjadi tulangan

Data Strand			
f_y strand	=	1676	MPa
f_u strand	=	1860	MPa
Rasio1	, f_y strand / f_u strand	=	0,901
Luas Tendon			
Luas strand	, A	=	140 mm ²
Luas tendon	, $A_{tendon} = A \times 22_{strand}$	=	3080 mm ²
Data Tulangan			
f_y tulangan	=	400	MPa
Rasio2	, f_y strand / f_y tulangan	=	4
Konversi tendon ke tulangan			
A_{tendon_konv}	, Rasio2 x A_{tendon}	=	12320 mm ²
Maka tulangan konversi tendon			
D_{konv}	=	125,25	mm
A_{konv}	, $0,25 \times \pi \times D_{konv}^2$	=	12320 mm ²
Check	$A_{tendon_konv} (mm^2)$	=	$A_{konv} (mm^2)$
Hasil	12320	=	12320 OK

Dari hasil konversi diatas maka digunakan tulangan dengan diameter sebesar 125,25mm. Dengan adanya konversi tendon pada model linier, maka rasio tulangan yang terjadi adalah 3,96%. Adapun perbedaan kapasitas yang terjadi akibat adanya konversi tendon adalah sebagai berikut,



Gambar 8. Grafik P-M untuk model S1 dan S2 (kiri) dan pemodelan S2 di PCA-Col (kanan)

PCA-TDN-D19-Nominal (S2) adalah model linier skema2 dengan tulangan D19 dan konversi tendon (PM nominal). PCA-TDN-D19-Reduksi (S2) adalah model linier skema2 dengan tulangan D19 dan konversi tendon (PM di reduksi). Dengan adanya konversi tendon pada model linier maka kapasitas aksial tarik di *box* menjadi meningkat, sedangkan kapasitas aksial tekan menjadi berkurang. Kapasitas nominal dan desain pada model skema2 memiliki kapasitas yang lebih besar dari skema1. Kurva di atas hanya mempertimbangkan aksial dan momen transversal (M_y), sedangkan untuk momen arah longitudinal (M_x) dianggap nol.

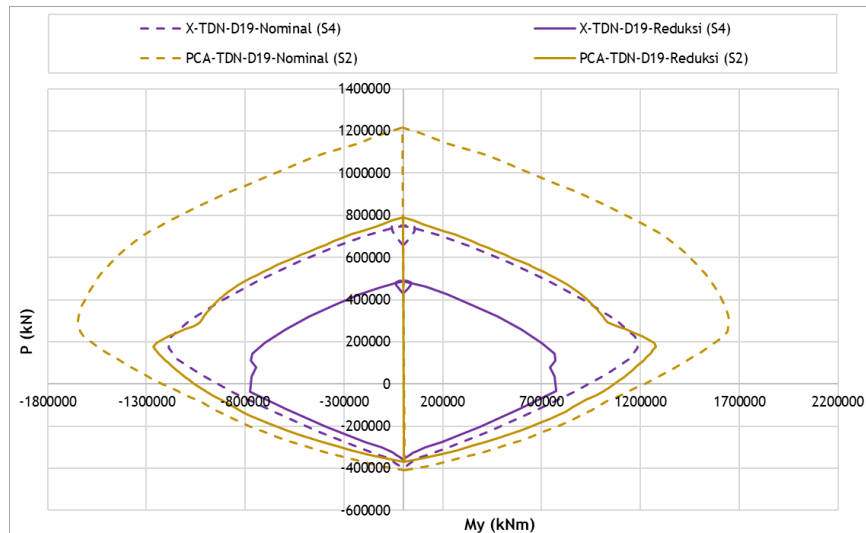
4.3 Model Nonlinier Skema2 (S2) & Skema4 (S4)

Model nonlinier mempertimbangkan adanya efek *prestress* akibat tendon, tulangan yang tersebar pada *top-bottom box* dan material *unconfined* pada beton. Skema4 merupakan model *box* yang dianalisis secara transversal dengan konfigurasi tulangan dan tendon sesuai dengan gambar desain (D19-200, tendon 6-22). Adapun besaran *prestress* yang diaplikasikan pada model adalah

Tabel 4. Nilai *prestress* pada model

<i>Prestress</i>			
$f_{u \text{ strand}}$	=	1860	MPa
$f_{u \text{ desain}}$	, $0.6 \times f_{u \text{ strand}}$	=	1116 MPa
Luas Tendon			
Luas strand	, A	=	140 mm^2
Luas tendon	, $A_{\text{tendon}} = A \times 22_{\text{strand}}$	=	3080 mm^2
<i>Prestress</i>	, $A_{\text{tendon}} \times f_{u \text{ desain}}$	=	3437,3 kN

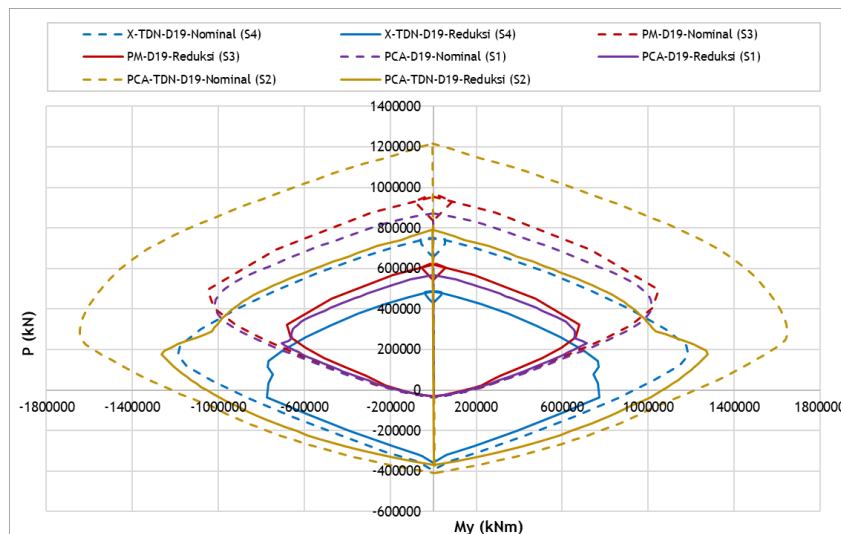
Sehingga untuk mengetahui efek *prestress* yang terjadi maka diagram P-My di bandingkan dengan skema2



Gambar 9. Efek *prestress* pada S4 vs konversi tendon S2

Model linier dan nonlinier memiliki karakter yang sama dimana grafik menunjukkan bahwa tendon dapat menurunkan kapasitas aksial tekan dan meningkatkan kapasitas aksial tarik pada *box*. Model linier dengan konversi tendon menghasilkan kapasitas (P - My) yang lebih besar dari model nonlinier. Kapasitas nonlinier menjadi lebih kecil karena *box* dikenakan gaya *prestress* sebesar 3437,3kN, sedangkan model linier tidak bisa menggambarkan gaya *prestress* tersebut. Untuk menentukan kapasitas pada *box* maka diperlukan analisis yang mendukung interaksi antara aksial dan biaksial momen.

4.4 Perbandingan Kapasitas Model Linier dan Nonlinier Terhadap Gaya Dalam

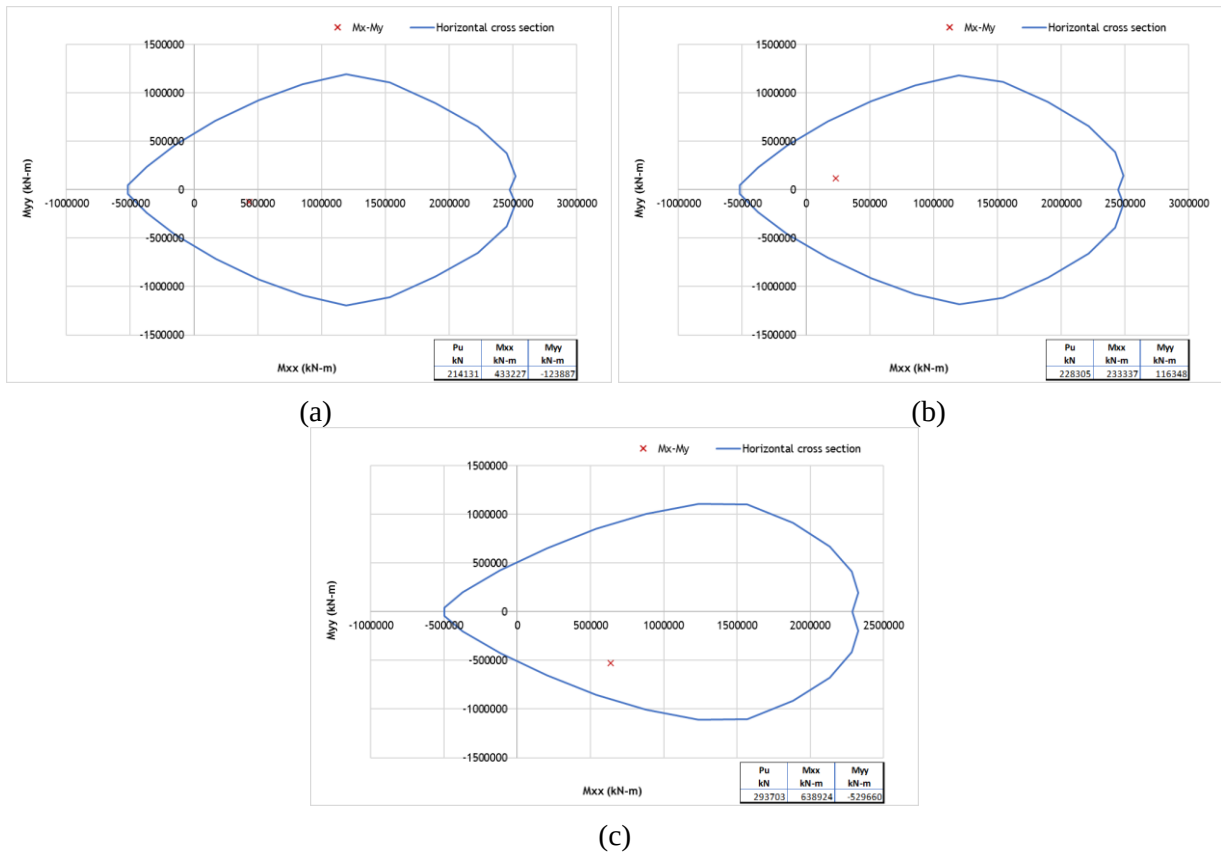


Gambar 10. Perbandingan kapasitas- semua skema

Dari grafik diketahui bahwa *prestress* pada tendon memberikan efek tekan tambahan pada *box* sehingga kapasitas aksial tekan *box* menjadi berkurang. Namun di sisi lain kapasitas aksial tarik *box* menjadi meningkat.

4.5 Interaction Surface Untuk Kombinasi Aksial (P) Dan Biaksial Momen

Untuk mengakomodir semua gaya dalam yang terjadi (P - M_x - M_y) pada *box* maka dilakukan analisis secara biaksial. Kapasitas di tinjau berdasarkan nilai P , M_x , M_y dengan konfigurasi tulangan D19-200 dan tendon (6-22).



Gambar 11. (a) Diagram Mx-My saat $P = 214130,6$ kN, (b) Diagram Mx-My saat $P = 228305,5$ kN, (c) Diagram Mx-My saat $P = 293703,3$ kN

Diagram di atas menggambarkan hubungan kapasitas biaksial (momen longitudinal dan momen transversal) yang terjadi pada *box* saat $P = 214130,6$ kN (grafik a), $P = 228305,5$ kN (grafik b) dan $P = 293703,3$ kN (grafik c). Titik merah merupakan titik koordinat momen (trans-long) *box* yang di plot pada grafik kapasitas biaksial. *Box* dengan konfigurasi tulangan D19-200 dan tendon (6-22) memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang bekerja (momen longitudinal-transversal) karena titik koordinat gaya dalam berada di dalam diagram kapasitas biaksial (Mx, My).

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis pada pemodelan *box girder* dalam menentukan kapasitas, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Diagram interaksi (P-My) pada analisis linier skema1, didominasi oleh aksial tekan dengan rasio tulangan arah transversal kurang dari 1% sehingga diperlukan tulangan tambahan sehingga rasio tulangan lebih dari 1%. Penambahan tulangan dapat dilakukan pada bagian *web box*.
- Prestress* memberikan tekanan tambahan pada *box* sehingga kapasitas aksial tekan menjadi berkurang dan menyebabkan kenaikan pada kapasitas aksial tarik.
- Berdasarkan diagram kapasitas yang ditinjau secara biaksial (P-Mx-My) maka diketahui bahwa konfigurasi tulangan D-19 dan tendon (6-22) mampu menahan gaya dalam eksternal terbesar (Mx-My) yang terjadi pada *box* akibat kombinasi pembebanan Ekstrem dan Kuat.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, disarankan bahwa meskipun konfigurasi tulangan D-19 dan tendon (6-22) terbukti efektif dalam menahan gaya eksternal terbesar yang disebabkan oleh kombinasi beban Ekstrem dan Kuat, analisis perlu divalidasi lebih lanjut dengan menggunakan metode analisis elemen hingga untuk memastikan distribusi tegangan yang terjadi pada *box girder*. Selain itu, diharapkan bahwa analisis ini dapat memberikan kontribusi penting dalam evaluasi perencanaan *box girder*, khususnya terkait dengan momen transversal dalam perancangan jembatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AASHTO LRFD, *Bridge Design Specifications*. 2007.
- [2] H. Huang, S.-S. Huang, and K. Pilakoutas, "Modeling for Assessment of Long-Term Behavior of Prestressed Concrete Box-Girder Bridges," *J. Bridg. Eng.*, vol. 23, no. 3, pp. 1–15, 2018, doi: 10.1061/(ASCE)be.1943-5592.0001210.
- [3] I. Sebastian and F. X. Supartono, "Analisis Struktur Jembatan Gantung Self-Anchored," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, p. 169, 2019, doi: 10.24912/jmts.v2i1.3422.
- [4] Wiratama Adi Prasetya, Elvira, and Gatot Setya Budi, "Perhitungan Jembatan Layang (Flyover) Dengan Tipe Box Girder Beton Prategang (Prestressed Concrete) Untuk Pertemuan Jalan Mayor Aliyang Dan Jalan Soekarno-Hatta Kabupaten Kubu Raya Wiratama," pp. 1–13.
- [5] Y. Chen, J. Dong, Z. Tong, R. Jiang, and Y. Yue, "Flexural behavior of composite box girders with corrugated steel webs and trusses," *Eng. Struct.*, vol. 209, no. December 2019, p. 110275, 2020, doi: 10.1016/j.engstruct.2020.110275.
- [6] C. Dunder, S. Tokgoz, A. K. Tanrikulu, and T. Baran, "Behaviour of reinforced and concrete-encased composite columns subjected to biaxial bending and axial load," *Build. Environ.*, vol. 43, no. 6, pp. 1109–1120, 2008, doi: 10.1016/j.buildenv.2007.02.010.
- [7] I. G. G. Wiryadi, I. K. Diartama, K. Tubuh, I. P. Agus, P. Wirawan, and U. M. Denpasar, "Perilaku Dinamis dari Penggunaan Bracing X Dua Tingkat pada Gedung Bertingkat Dengan Analisis Time History," *Reinf. Rev. Civ. Eng. Stud. Manag.*, vol. 3, no. 1, pp. 41–55, 2024.
- [8] Y. Ding, G. Zhou, A. Li, and G. Wang, "Thermal field characteristic analysis of steel box girder based on long-term measurement data," *Int. J. Steel Struct.*, vol. 12, no. 2, pp. 219–232, 2012, doi: 10.1007/s13296-012-2006-X.
- [9] L. Li, C. Zhou, and L. Wang, "Distortion analysis of non-prismatic composite box girders with corrugated steel webs," *J. Constr. Steel Res.*, vol. 147, pp. 74–86, 2018, doi: 10.1016/j.jcsr.2018.03.030.
- [10] M. Ridwan, "Analisa Struktur Box Girder Jalan Layang Kereta Api Kualanamu," *J. Civ. Eng. Build. Transp.*, vol. 1, no. 2, p. 63, 2018, doi: 10.31289/jcebt.v1i2.1660.
- [11] E. Walujodjati and Eka Cahya Gumilar, "Analisis Kapasitas Box Girder pada Jembatan," *J. Konstr.*, vol. 20, no. 1, pp. 126–138, 2022, doi: 10.33364/konstruksi/v.20-1.1035.
- [12] BSN, "Standar Nasional Indonesia 2847 : 2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung Dan Penjelasan Sebagai Revisi Dari Standar Nasional Indonesia 2847 : 2013," *Badan Stand. Nas.*, no. 8, 2019.
- [13] C. Dunder, "Concrete Box Sections under Biaxial Bending and Axial Load," *J. Struct. Eng.*, vol. 116, no. 3, pp. 860–865, 1990, doi: 10.1061/(asce)0733-9445(1990)116:3(860).
- [14] A. Mark, K. Servie, O. Dapas, and S. E. Wallah, "Desain Struktur Balok Beton Prategang Untuk Bangunan Industri," *J. Sipil Statik*, vol. 6, no. 11, pp. 959–972, 2018, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/download/20730/20408>
- [15] E. Ri, W. K. H. Jurxs, and V. D. Uhsxwdwlrq, "Vsl Strand Post-Tensioning Systems Vsl – a Reputation for Excellen Ce Since 1956".
- [16] F. Mahmud, "Analisa daktilitas kolom akibat pengekangan metode mander," *Spektrum Sipil*, vol. 3, no. 2, pp. 177–188, 2016.
- [17] B. Sabariman, "Kuat Tekan Aksial Kolom Pendek Terkekang Penampang Persegi Diperkuat Serat Baja," *INERSIA INformasi dan Ekspose Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–12, 2018, doi: 10.21831/inersia.v14i1.19499.

- [18] B. Wuritno, "Analisis Kolom Pendek Beton Bertulang Yang Mengalami Gaya Aksial Centris Dan Momen Biaksial Akibat Pengaruh Geometrik Penampang Melintang Dan Konfigurasi Tulangan," *J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 1, pp. 1–22, 2012.
- [19] I. M. Diamanta, R. Frans, and H. T. Kalangi, "Perancangan Aplikasi Perhitungan Kuat Nominal Kolom Beton Bertulang Berbasis Aplikasi Android," *J. RAB Contruction Res.*, vol. 9, no. 1, pp. 35–46, 2024.
- [20] I. N. Sugiarta and I. M. L. M. A. Wangsa, "Analisis Studi Komparasi Beton Precast Pada Proyek Jembatan Pangsan di PT Sanur Jaya Utama," *Reinf. Rev. Civ. Eng. Stud. Manag.*, vol. 2, no. 1, pp. 47–54, 2023.
- [21] E. Empung, I. Handiman, and N. Setiawan, "Perencanaan Gedung Parkir Motor Dari Konstruksi Baja Dengan Pelat Komposit 3 Lantai Di Universitas Siliwangi Tasikmalaya," *Akselerasi J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 42–51, 2020, doi: 10.37058/aks.v1i2.1501.
- [22] A. Kurniansyah, Elvira, and M. Yusuf, "Pengaruh Pengekangan (Confinement) dengan Variasi Jarak Sengkang Terhadap Peningkatan Kapasitas Kekuatan Kolom," *J. Tek. Sipil Untan*, vol. 13, no. 1, pp. 115–129, 2013.