

Analisis Kontribusi Tulangan Tekan Terhadap Kapasitas Nominal Momen Penampang Balok Beton Kecil Dengan Variasi Tulangan Tarik

Israel Padang, Hernita Matana, Zwengly Lodi Honta, Harni Eirene Tarru

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Toraja

e-mail: israelpadang@ukitoraja.ac.id

ABSTRAK

Beton bertulang tetap menjadi tulang punggung infrastruktur modern karena kemudahan pelaksanaan, ketahanan, dan biaya yang relatif ekonomis. Pada penampang balok kecil, perancangan balok rangkap kerap dipilih untuk mempertahankan kapasitas momen, kekakuan, dan daktilitas. Namun, kedalaman garis netral (c) yang dangkal dapat menyebabkan tulangan tekan berada di zona tarik ($c < d'$) sehingga kontribusinya terhadap kapasitas momen nominal (M_n) menjadi nol. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kontribusi tulangan tekan pada balok kecil 150×150 mm dengan variasi diameter tulangan tarik ($2\phi 10$ – $2\phi 22$) dan membandingkan kinerja material tulangan tekan baja dan bambu. Metode analisis bersifat teoretis menggunakan prinsip kompatibilitas regangan linier dan keseimbangan gaya–momen sesuai SNI 2847:2019, dengan parameter material $f'_c = 25$ MPa, $E_s = 200.000$ MPa, $f_y = 240$ MPa, dan batas tegangan tekan bambu 60 MPa. Hasil menunjukkan bahwa untuk variasi tulangan tarik $\phi 10$ – $\phi 14$, $c < d'$, sehingga kontribusi tulangan tekan 0%. Titik balik terjadi pada $\phi 16$ ketika $c > d'$, menandakan tulangan atas mulai bekerja pada tekan. Kontribusi tulangan tekan baja meningkat signifikan dari 2,93% hingga 15,05% seiring bertambahnya ϕ tarik, sedangkan kontribusi bambu tetap rendah ($\leq 1,79\%$) akibat kekakuan dan tegangan izin yang lebih kecil.

Kata kunci: balok rangkap, baja, bambu, tulangan tekan, kapasitas momen

1. PENDAHULUAN

Beton bertulang tetap menjadi tulang punggung infrastruktur karena kemudahan pelaksanaan, ketahanan, serta biaya yang relatif ekonomis (Putri et al., 2025); (Padang et al., 2024a). Pada elemen lentur, beton terutama bekerja menahan tekan, sementara tulangan menahan tarik. Ketika dimensi penampang dibatasi misalnya pada balok kecil (mis. 150×150 mm) desainer sering menerapkan balok rangkap (doubly reinforced), yakni penempatan tulangan tarik dan tulangan tekan sekaligus, untuk menjaga kapasitas, kekakuan, serta daktilitas. Prinsip perancangan mengacu pada kesesuaian regangan dan keseimbangan gaya–momen sebagaimana diformulasikan dalam standar SNI 2847:2019 asumsi bidang tetap datar, blok tegangan beton ekuivalen, serta respons tulangan pada kondisi ultimit (Badan Standar Nasional, 2019).

Pada penampang kecil, persoalan praktis segera muncul terkait kedalaman garis netral c . Kedekatan c terhadap selimut atas d' dapat membuat kondisi $c < d'$, dalam situasi ini, batang di sisi atas yang diniatkan sebagai tulangan tekan justru berada pada zona tarik pada kondisi ultimit, sehingga kontribusi tekan terhadap kapasitas momen nominal menjadi nol. Fenomena ini krusial: ia menentukan apakah penambahan tulangan pada sisi tekan benar-benar menaikkan kapasitas atau sekadar menambah massa tulangan tanpa efek pada kapasitas lentur (M_n). Karena itu, evaluasi teoretis yang eksplisit terhadap posisi c relatif terhadap d' perlu didahulukan sebelum menyimpulkan manfaat tulangan tekan pada penampang kecil (Badan Standar Nasional, 2019).

Dorongan menuju konstruksi berkelanjutan juga memunculkan minat terhadap material alternatif yang rendah jejak karbon dan mudah diakses (Padang et al., 2024b). Bambu adalah kandidat yang menonjol: cepat tumbuh, tersedia luas, ringan, dan memiliki rasio kekuatan terhadap berat yang baik (Andriani and Anugerah Putra, 2022); (Pertiwi and Atul, 2025). Untuk kepentingan desain, karakter mekanik bambu misalnya modulus elastisitas (MOE) dan kuat lentur (MOR) telah distandardisasi melalui (ISO 22157, 2019), sehingga parameter dapat diadopsi lebih konsisten. Sejumlah studi dalam negeri menunjukkan potensi bambu dalam elemen beton dari sisi perilaku lentur dan efisiensi material (Kurniati and Saputro, 2024); (Ariefki et al., 2024); (Muhlis A et al., 2024). Di sisi lain, kajian numerik pada elemen komposit berbambu memberi wawasan tentang kompromi deformasi–tegangan yang patut diperhitungkan saat mengganti sebagian tulangan baja dengan bambu (Muhtadi et al., 2022). Pemilihan nilai desain yang konservatif misalnya memakai persentil ke-5 untuk MOE/MOR juga direkomendasikan agar prediksi kapasitas berada pada sisi aman (ISO 22157, 2019); (Irawati et al., 2020) .

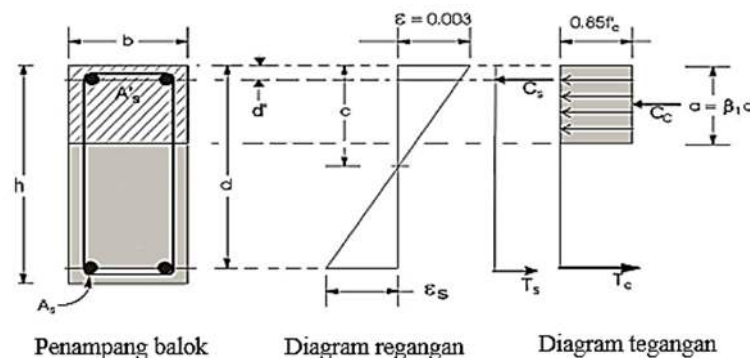
Berangkat dari lanskap tersebut, penelitian ini secara teoritis menelaah kontribusi tulangan tekan pada balok berpenampang kecil, dengan pembandingan material antara baja dan bambu dengan variasi diameter tulangan tarik baja.

2. LANDASAN TEORI

Balok rangkap

Pada elemen lentur beton bertulang, kekuatan penampang pada keadaan ultimit ditentukan oleh kerja sama antara zona tekan beton dan tulangan baja yang menahan tarik menahan tekan di sisi atas. Secara konseptual, perancangan didasarkan pada dua pilar: kompatibilitas regangan bahwa bidang tetap datar setelah deformasi sehingga regangan bervariasi linier terhadap tinggi penampang dan keseimbangan gaya-momen bahwa resultan gaya tekan harus seimbang dengan resultan gaya tarik, dengan lengan momen di antara keduanya membentuk kapasitas lentur.

Perbedaan penting muncul antara balok bertulangan tunggal dan balok bertulangan rangkap. Pada penampang tunggal, tulangan hanya ditempatkan di sisi tarik; kapasitas momen dibatasi oleh kemampuan zona tekan beton. Sementara itu, pada penampang rangkap, ditambahkan tulangan tekan di dekat serat atas dengan tujuan meningkatkan kapasitas ketika tinggi penampang dibatasi, sekaligus memberi cadangan kekuatan setelah beton mulai hancur. Namun efektivitas tulangan tekan sangat bergantung pada posisi garis netral c dimana tulangan atas baru benar-benar bekerja dalam tekan bila $c > d'$ (jarak efektif tulangan atas). Pada penampang kecil seperti 150×150 mm yang dikaji dalam penelitian ini, c sering dangkal. Jika $c \leq d'$, batang atas justru berada di zona tarik pada kondisi ultimit sehingga kontribusi tekannya nol.



Gambar 1. Desain Penampang Balok Persegi (Bertulangan Rangkap)

Kapasitas nominal momen penampang rangkap dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$M_n = A_s f_s \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f'_s (d - d') \quad (1)$$

Dengan A_s = luas tulangan tarik, A'_s = luas tulangan tekan, f_s = tegangan tarik baja tulangan, f'_s = tegangan tekan baja tulangan, d = jarak efektif tulangan tarik, d' = jarak efektif tulangan tekan, a = kedalaman blok tekan ekuivalen.

Persentase kontribusi tulangan tekan terhadap kapasitas lentur :

$$\% \text{ tekan} = \frac{A'_s f'_s (d - d')}{M_n} \times 100 \quad (2)$$

Prinsip analisis

- Jika garis netral $c < d'$, tulangan tekan sebenarnya berada pada zona tarik, kontribusinya nol
- Untuk tulangan tekan bambu, tegangan maksimum dibatasi pada kuat tekan sejajar serat

Perkiraan awal c (anggap batang atas belum ikut tekan), sehingga:

Gaya tarik :

$$T = A_s f_y \quad (3)$$

Keseimbangan gaya:

$$T = C_c = 0.85 f'_c b a \quad (4)$$

$$a = \frac{T}{0.85 f'_c b} \quad (5)$$

Garis Netral :

$$c = \frac{a}{\beta_1} \quad (6)$$

Dengan β_1 = konstanta yang merupakan fungsi dari kelas kuat beton.

Menurut SNI 2847-2019, menetapkan nilai β_1 sebagai berikut:

$$17 \leq f_c' \leq 28 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0.85$$

$$28 < f_c' < 55 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0.85 - \frac{0.05(f_c' - 28)}{7}$$

$$f_c' \geq 55 \text{ MPa} \quad \beta_1 = 0.65$$

3. METODE ANALISIS

Desain studi dan ruang lingkup

Penelitian ini bersifat analitis teoretis dan berfokus pada kontribusi tulangan tekan di penampang balok kecil. Analisis dilakukan pada penampang 150×150 mm dengan selimut 20 mm, sengkang Ø8, tulangan tekan (atas) 2Ø10, serta variasi tulangan tarik (bawah) baja: 2Ø10, 2Ø12, 2Ø14, 2Ø16, 2Ø19, dan 2Ø22. Material tulangan atas dievaluasi untuk dua alternatif (baja dan bambu). Cakupan tidak membahas lekatan, durabilitas, atau kinerja layan; fokus terbatas pada kapasitas nominal momen penampang (M_n) serta persentase kontribusi tulangan tekan.

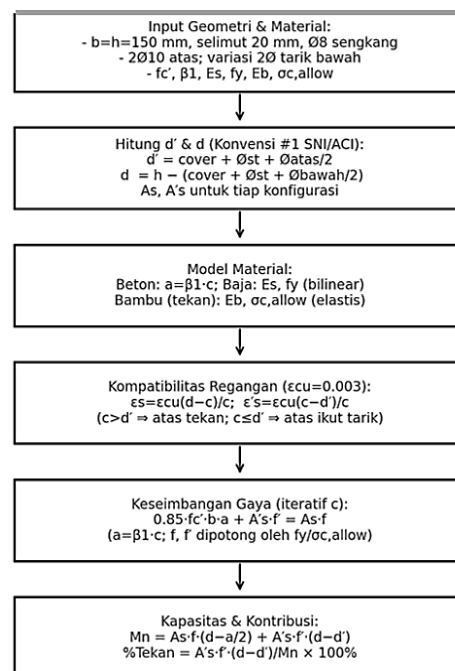
Parameter material

- Beton : $f_c' = 25 \text{ MPa}$, $\epsilon_{cu} = 0.003$, blok tekan ekuivalen dengan $a = \beta_1 c$ di mana $\beta = 0.85$
- Baja tulangan: $E_s = 200.000 \text{ MPa}$, $f_y = 240 \text{ MPa}$
- Bambu (tulangan atas – hanya tekan): $E_b = 15.000 \text{ MPa}$, batas tegangan tekan diizinkan σ_c , allow = 60 MPa

Semua nilai ini dipakai konsisten di seluruh variasi.

Prosedur analitis

Asumsi bidang tetap datar dipakai sehingga profil regangan linier. Secara umum prosedur analitis dapat dilihat pada diagram alir berikut:



Gambar 2. Diagram alir analitis

Kriteria zona

Jika hasil akhir $c \leq d'$, kontribusi tekan dilaporkan 0% dengan catatan batang atas berada pada zona tarik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis nilai c dan d'

Tabel 1. Nilai c dan d' untuk 2Ø10 atas (baja dan bambu) dengan variasi tulangan tarik baja

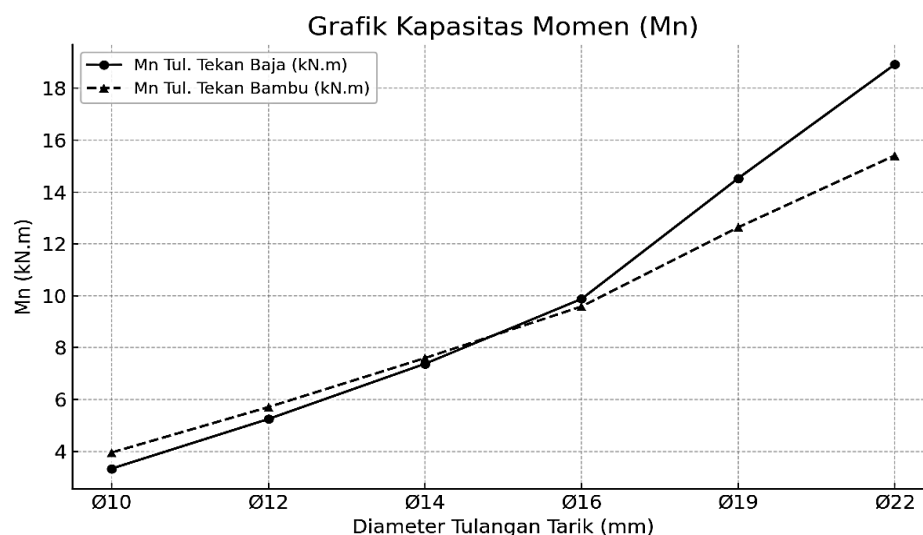
No	Ø tarik baja	d (mm)	d'(mm)	c tekan baja (mm)	Zona atas baja	c tekan bambu (mm)	Zona atas bambu
1	2Ø10	117.00	33.00	25.02	tarik	16.52	tarik
2	2Ø12	116.00	33.00	27.30	tarik	21.44	tarik
3	2Ø14	115.00	33.00	30.33	tarik	27.76	tarik
4	2Ø16	114.00	33.00	34.30	tekan	35.44	tekan
5	2Ø19	112.50	33.00	42.47	tekan	49.37	tekan
6	2Ø22	111.00	33.00	53.87	tekan	66.04	tekan

Seiring diameter tulangan tarik bawah membesar, nilai c meningkat karena gaya tarik $A_s f_s$ bertambah dan harus diseimbangkan oleh resultan tekan yang lebih besar (blok tekan beton $a = \beta_1 c$ makin dalam). Untuk tiga variasi awal tulangan tarik Ø10-Ø14, diperoleh nilai $c < d'$, sehingga batang atas berada pada zona tarik dan belum memberi kontribusi tekan. Titik balik terjadi mulai Ø16 ketika $c > d'$, menandakan tulangan atas mulai bekerja pada tekan. Perbandingan material menunjukkan bahwa saat zona tarik $c_{bambu} < c_{baja}$ karena kemampuan tekan bambu rendah sehingga beton harus menanggung porsi tekan yang lebih besar, memaksa garis netral turun lebih dalam. Implikasinya, pada penampang kecil 150×150 mm dengan 2Ø10 di atas, tulangan tekan baru efektif bila Ø tarik bawah $\geq 2Ø16$, dan sekalipun aktif, kontribusi tekan bambu tetap kecil.

Hasil analisis kapasitas nominal momen penampang dan kontribusi tulangan tekan

Tabel 2. Kapasitas M_n dan kontribusi tulangan tekan baja dan bambu dengan variasi tulangan tarik

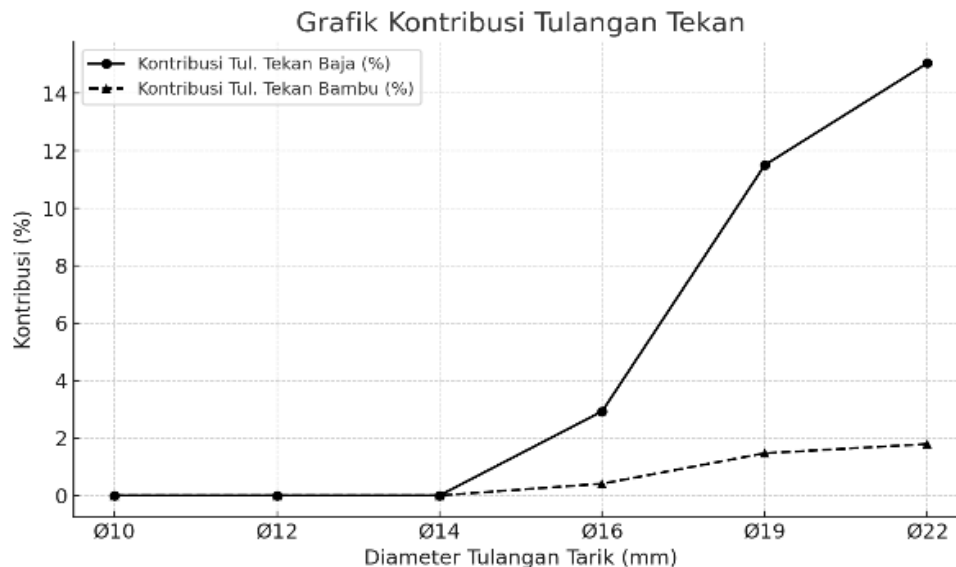
No	Ø tarik baja	Mn-tul. tekan baja (kN.m)	Kontribusi tul. tekan baja %	Mn-tul. tekan bambu (kN.m)	Kontribusi tul. tekan bambu %
1	2Ø10	3.34	0.00	3.96	0.00
2	2Ø12	5.25	0.00	5.71	0.00
3	2Ø14	7.38	0.00	7.60	0.00
4	2Ø16	9.88	2.93	9.59	0.41
5	2Ø19	14.53	11.50	12.64	1.47
6	2Ø22	18.92	15.05	15.41	1.79



Gambar 3. Grafik kapasitas momen

Secara umum, M_n naik seiring ϕ tarik diperbesar karena $A_s f_s$ meningkat. Untuk variasi tulangan tarik $\phi 10$ - $\phi 14$, nilai $c < d'$, sehingga tulangan belum bekerja tekan, akibatnya kontribusi tekan tidak ada atau 0% pada kedua material tulangan tekan baja dan bambu. Pada rentang ini, M_n bambu sedikit lebih besar karena c pada penggunaan tulangan tekan bambu lebih kecil, $a = \beta_1 c$ lebih kecil sehingga lengan momen $d - a/2$ sedikit lebih besar.

Mulai variasi tulangan tarik $\phi 16$, nilai $c > d'$ dan tulangan atas mulai tekan. Di sini terlihat perbedaan tajam kontribusi tekan baja naik signifikan 2,93% - 15,05% sehingga M_n baja melampaui bambu. Sebaliknya, kontribusi tekan bambu sangat kecil 0,41% - 1,79% karena kekakuan dan tegangan izin tekan bambu jauh di bawah baja. Selain itu, nilai c bambu lebih dalam, membuat a lebih besar dan mengurangi lengan momen.



Gambar 3. Grafik kontribusi tulangan tekan terhadap M_n

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Tulangan tekan efektif mulai bekerja pada penampang kecil 15 x 15 cm ketika ϕ tarik $\geq 2\phi 16$ ($c > d'$).
2. Kontribusi tulangan tekan baja meningkat signifikan (2,93%–15,05%), sedangkan kontribusi bambu sangat kecil ($\leq 1,79\%$).
3. Kapasitas momen nominal (M_n) bertambah seiring ϕ tarik membesar, dan M_n baja melampaui M_n bambu setelah tulangan tekan bekerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, C., Anugerah Putra, H., 2022. Sifat Mekanik Bambu sebagai Bahan Konstruksi.
- Ariefki, D., Muhtar, Cahya Dewi, I., 2024. Crack Patterns and Stiffness of Bamboo Reinforced Concrete Beams with Waru Tree Fiber Added Material, *Jurnal Smart Teknologi*.
- Badan Standar Nasional, 2019. SNI 2847-2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta.
- Irawati, Inggat Septhia, Urwatul Wusqo, 2020. Perbandingan Perilaku Lentur Balok Bambu Menggunakan Sifat Mekanik Yang Diperoleh Dengan Metode Rata-Rata Dan Persentil Ke-5. *Jurnal Permukiman* 15.
- ISO 22157, 2019. Bamboo structures-Determination of physical and mechanical properties of bamboo culms-Test methods.
- Kurniati, D., Saputro, T., 2024. EVALUASI KUAT LENTUR BETON BERTULANG BAMBU 10.
- Muhlis A, Muhammad Al Faroqi, Suprpto Siswosukarto, Nurkhamid, M M Siregar, 2024. KARAKTERISTIK BETON TULANGAN ANYAMAN BAMBU PETUNG TERHADAP LEDAKAN TNT. *Jurnal Teknik Sipil Pertahanan* 11.
- Muhtadi, S., Sulton, M., Sipil, J.T., 2022. Analisis Numeris Pengaruh Penambahan Bambu Bulat Pada Struktur Kolom Beton Komposit Berongga Terhadap Kapasitas Aksial. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia* 7, 28–40. <https://doi.org/10.33366/rekabua>
- Padang, I., Djamaluddin, R., Parung, H., Amiruddin, A., 2024a. KAJIAN LITERATUR SISTEM SAMBUNGAN

- BALOK SLOOF PRACETAK KONSTRUKSI RUMAH SEDERHANA TAHAN GEMPA , in: Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS). Kupang.
- Padang, I., Lodi Honta, Z., Manga, J., 2024b. KUAT LENTUR BALOK BETON YANG MENGGUNAKAN BATANG POHON AREN SEBAGAI TULANGAN, KoNTekS Ke-18 Kupang.
- Pertiwi, B., Atul, M.I., 2025. Penggunaan Material Bambu sebagai Bahan Utama Konstruksi pada Bangunan Green Village Bali 27–35. <https://doi.org/10.62383/filosofi.v2i1.458>
- Putri, G.Z., Muh, A., Metamagfira, T., 2025. Optimasi Biaya Material pada Peralihan Struktur Beton Bertulang ke Rangka Baja pada Proyek X, Jurnal Teknik Sipil.