

TINJAUAN MEKANIKA BAHAN PADA KEKOKOHOAN KOMPONEN BALOK T KOMPOSIT

Adityo Budi Utomo¹⁾, Agung Bhakti Utama²⁾, Galih Adya Taurano²⁾

¹⁾ Program Studi Teknologi Jalan dan Jembatan, Politeknik Pekerjaan Umum

*²⁾ Program Studi Teknologi Bangunan Gedung, Politeknik Pekerjaan Umum
Jln. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, 50275*

Email: adityobudiutomo@gmail.com

ABSTRAK

Penggunaan material komposit beton dan baja sudah umum digunakan pada berbagai elemen struktur di Indonesia. Penggunaan komposit baja dan beton dapat ditemui dalam bentuk balok T komposit dimana elemen beton digunakan pada serat tekan dan baja diletakan pada serat tarik. Penelitian ini menggunakan 3 model balok T komposit bertujuan untuk mengkaji pengaruh penggunaan material baja dibandingkan beton sebagai sebuah elemen komposit dalam hal kekuatan, kekakuan, dan daktilitas struktur. Kajian dilakukan dengan pendekatan teoritis matematis menggunakan metode elastisitas. Hasil kajian menunjukkan penggunaan baja sebagai elemen komposit baja-beton memberikan peningkatan kapasitas lentur, kekakuan, dan daktilitas yang sangat signifikan bila dibandingkan dengan penggunaan beton saja. Elemen struktur berbahan beton saja dinilai tidak memberikan kekuatan yang berarti.

Kata kunci: komposit, baja, beton, struktur.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sistem struktur komposit terbentuk adanya interaksi antara 2 jenis bahan yang berbeda yang dengan mengoptimalkan karakteristik masing-masing materialnya. Elemen bangunan yang biasa menggunakan material komposit antara lain kolom komposit, balok komposit, pelat komposit, dan dinding komposit. Dalam dunia konstruksi Indonesia, material umum yang digunakan anatar lain beton, baja, dan kayu.

Beton merupakan jenis material yang memiliki kuat tekan tinggi namun kuat tariknya rendah sehingga biasa dikombinasikan dengan material baja sebagai sebuah elemen komposit. Penggunaan komposit beton dan baja dalam bentuk balok dan kolom komposit

bisa berupa beton bertulang, baja dengan isian beton atau baja yang diselubungi beton. Peningkatan kekuatan, kekakuan dan daktilitas pada elemen komposit beton-baja perlu dikaji lebih lanjut untuk mengetahui seberapa jauh pengaruh penambahan baja dalam sebuah elemen struktur beton. Kajian dilakukan untuk selanjutnya bisa dipergunakan untuk proses desain penggunaan jumlah baja yang optimal sehingga pola keruntuhan atau kegagalan dapat diantisipasi dan tetap memiliki nilai ekonomis serta kemudahan dalam pengerjaan.

Tujuan

Tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan baja sebagai material komposit beton baik dari sisi kekuatan, kekakuan, kemudahan pengerjaan, dan daktilitas bahan.

Tinjauan Literatur

Balok komposit

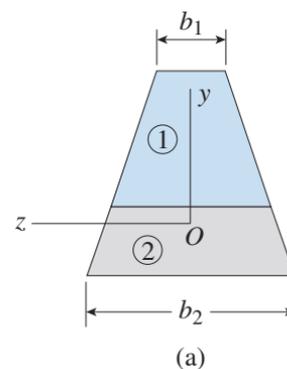
Aksi komposit pada elemen struktur terbentuk akibat adanya transfer tegangan antara 2 jenis material yang berbeda. Proses transfer tegangan dapat terjadi melalui : a) Mekanisme interlocking melalui penghubung geser atau shear *connector* antar material yang berbeda. b) Mekanisme lekatan dan friksi atau bonding disepanjang permukaan material yang terkekang bersama material lainnya.

Perhitungan kekuatan berdasarkan prinsip teori elastisitas (perhitungan cara-n)

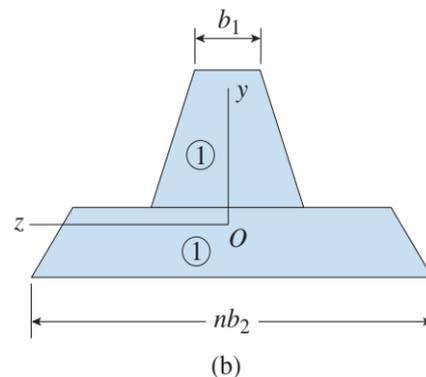
Menurut DPU (1971), Perhitungan penampang komposit akibat beban kerja didasarkan pada suatu keadaan elastis dengan asumsi: a) Bidang-bidang rata dianggap tetap rata setelah mengalami lentur dan tetap tegak lurus pada sumbu konstruksi (azas Bernoulli). b) Regangan-regangan di dalam penampang dianggap berbanding lurus dengan jaraknya ke garis netral (azas Navier). c) Hubungan tegangan dan regangan pada suatu material bersifat linier (hukum Hooke). d) Tegangan tarik dapat dianggap sepenuhnya dipikul oleh material baja

Menurut Gere (2013), metode transformasi penampang merupakan alternative cara untuk menganalisis tegangan lentur pada balok komposit. Metode ini berdasar atas prinsip teori elastisitas dimana merubah penampang melintang balok komposit ke dalam penampang ekuivalen balok imajiner yang tersusun atas satu material (disebut penampang transformasi). Kemudian balok imajiner dengan penampang

transformasi di Analisis dengan cara lentur sebagai sebuah material dan pada akhirnya, tegangan pada balok transformasi akan dikonversi ke balok aslinya. Untuk membuat penampang transformasi yang menyerupai dengan balok asli, sumbu netral harus diletakan pada lokasi yang sama dan momen tahanan juga harus sama (gambar 1 dan gambar 2). Dibutuhkan nilai modular ratio (n) untuk melakukan transformasi penampang (persamaan 1). Gambar di bawah ini adalah Balok komposit 2 material, gambar 1 penampang melintang asli dan gambar 2 penampang transformasi yang tersusun atas material 1.



Gambar 1. Penampang melintang asli



Gambar 2. Penampang transformasi yang tersusun atas material 1

$$n = \frac{E_2}{E_1} \dots \dots \dots (1) \text{ dimana } E_2 > E_1$$

Tegangan normal atau tegangan lentur pada material sejenis

dapat dihitung dengan rumus lentur standar (persamaan 2).

$$\sigma_{x1} = -\frac{M.y}{I_t} \dots\dots\dots(2)$$

dimana I_t adalah momen inersia penampang transformasi.

Sebagai sebuah material komposit yang bekerja bersama, material 1 dan material 2 akan mengalami nilai regangan yang sama akibat beban luar. Akibat perbedaan nilai modulus elastisitas (E) maka tegangan yang terjadi pada material 1 akan berbeda dengan material 2 (persamaan 3).

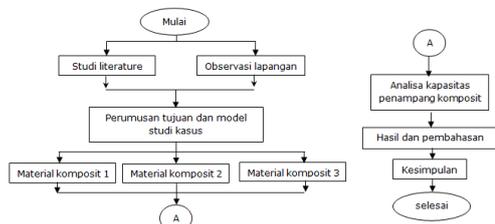
$$\sigma_{x2} = -\frac{M.y}{I_t} . n \dots\dots\dots(3)$$

Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh pada penelitian ini yaitu untuk mendapatkan tambahan materi pembelajaran tentang mekanika bahan khususnya material komposit baja dan beton.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara analitis teori tegangan lentur pada balok dengan tahapan sebagai berikut (Gambar 3):

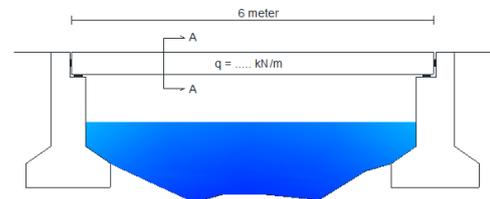


Gambar 3. Bagan alir penelitian

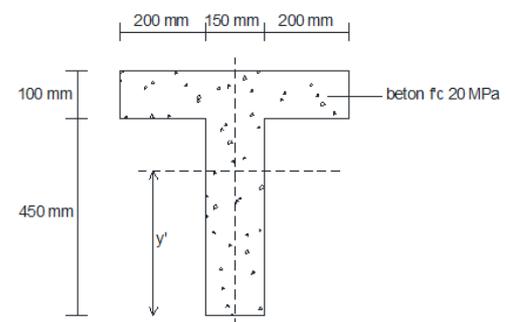
Material komposit yang dilakukan dalam penelitian ini antara lain: 1) Material komposit 1 = balok T berbahan beton (Gambar 5). 2) Material komposit 2 = balok T

berbahan beton-plat baja (Gambar 6). 3) Material komposit 3 = balok T berbahan bertulang (Gambar 7).

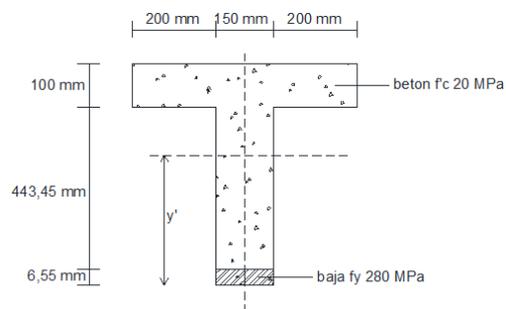
Ketiga material tersebut memiliki asumsi karakteristik: 1) Luas penampang balok sama. 2) Jumlah luasan penampang baja yang digunakan sama. 3) Mutu baja dan beton yang digunakan sama ($E_c = 26,5$ GPa, $E_s = 200$ GPa, f'_c beton = 20 MPa, f_t beton = 2 Mpa, dan f_y baja = 280 MPa). 4) Bentang studi kasus jembatan yang digunakan sama yaitu 6 meter (Gambar 4).



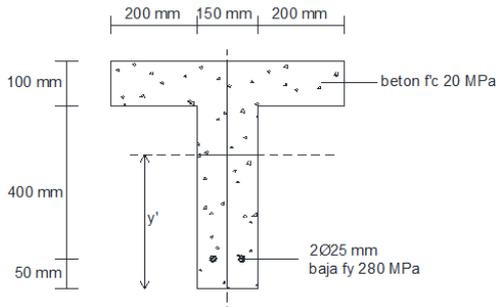
Gambar 4. Model balok jembatan bentang



Gambar 5. Material komposit 1



Gambar 6. Material komposit 2



Gambar 7. Material komposit 3

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kasus Balok T Beton Tanpa Tulangan (Gambar 4)

Parameter yang digunakan antara lain : 1) Modulus elastisitas beton , $E_c = 26,5 \text{ Gpa}$. 2) Kuat tekan beton ($f'c$) = 20 Mpa. 3) Kuat tarik beton (ft) = 2 Mpa.

Analisis Luas Penampang

$$(A) = (550 \times 100) + (450 \times 150) = 122.500 \text{ mm}^2$$

$$Y' = \frac{(550 \times 100 \times 50) + (450 \times 150 \times 225)}{122500} \\ = 348,47 \text{ mm}$$

Momen inersia (I_x) =

$$\frac{1}{12} \times 550 \times 100^3 + \\ 550 \times 100 \times (201,53 - 50)^2 + \\ \frac{1}{12} \times 150 \times 450^3 \\ + 150 \times 450 \times (348,47 - 225)^2 \\ = 3.331.571.344 \text{ mm}^4$$

Analisis Berat Sendiri/Bobot Mati

$$DL \text{ per } m' = 1000 \times (A_c \times B_j c) \\ = 1000 \times (122500 \times 2300 \times 10^{-9}) = \\ 281,75 \text{ kg/m.}$$

Analisis Kekuatan

Tegangan pada serat atas (tekan)

$$\sigma_{ijin} = \frac{M \times Y}{I_x}$$

$$20 = \frac{M \times 201,53}{3.331.571.344}$$

sehingga didapatkan nilai

$$M = 330.627.831,5 \text{ N.mm}$$

Tegangan pada serat bawah (tarik)

$$\sigma_{ijin} = \frac{M \times Y}{I_x}$$

$$2 = \frac{M \times 348,47}{3.331.571.344}$$

sehingga didapatkan nilai

$$M = 19.121.137,2 \text{ N.mm}$$

Sehingga penampang balok T tersebut memiliki kapasitas $M_{max} = 19.121.137,2 \text{ N.mm}$

Analisis kapasitas beban merata maksimal yang mampu dipikul

$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2$$

$$19.121.137,2 = \frac{1}{8} \times q \times 6000^2$$

Sehingga didapatkan nilai $q = 4,25 \text{ N/mm} = 425 \text{ kg/m}$.

Analisis Kekakuan

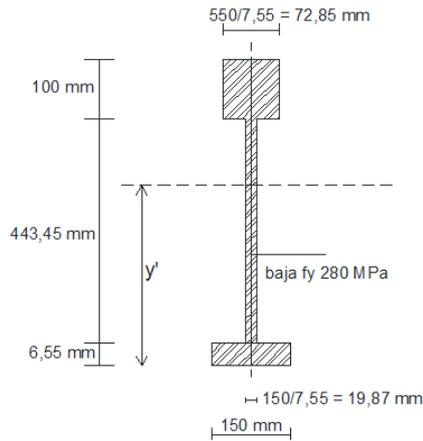
$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_x} = \frac{5}{384} \frac{4,25 \cdot 6000^4}{26500 \cdot 3.331.571.344} \\ = 0,81 \text{ mm}$$

Kasus Balok T Komposit Beton – Plat Baja (Gambar 5)

Kasus penampang ini karena terdiri dari 2 materiil beton dan plat baja maka akan dikonversi kedalam material baja. Parameter yang digunakan antara lain: 1) Modulus elastisitas beton , $E_c = 26,5 \text{ GPa}$. 2) Modulus elastisitas baja , $E_s = 200 \text{ GPa}$. 3) Kuat tekan beton ($f'c$) = 20 MPa. 4) Kuat tarik beton (ft) = 2 Mpa. 5) Kuat tarik leleh baja (fy) = 280 MPa.

Analisis Konversi Material Penampang

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200}{26,5} = 7,55 \dots \text{ (Gambar 8)}$$



Gambar 8. Transformasi penampang balok komposit 2

Analisis Luas Penampang

$$(A) = (72,85 \times 100) + (443,45 \times 19,87) + (150 \times 6,55) = 17.078,85 \text{ mm}^2$$

$$Y' = \frac{(72,85 \times 100 \times 50) + (443,45 \times 19,87 \times 228,275) + (150 \times 6,55 \times 3,275)}{17.078,85} = 331,24 \text{ mm}$$

$$\text{Momen inersia (Ixt)} = \frac{1}{12} \times 72,85 \times 100^3 + 72,85 \times 100 \times (218,76 - 50)^2 + \frac{1}{12} \times 19,87 \times 443,45^3 + 19,87 \times 443,45 \times (331,24 - 228,275)^2 + \frac{1}{12} \times 150 \times 6,55^3 + 150 \times 6,55 \times (331,24 - 3,275)^2 = 539.648.625,4 \text{ mm}^4$$

Analisis Berat Sendiri/Bobot Mati

$$DL \text{ per } m' = 1000 \times ((Ac \times BJc) + (Ast \times BJs)) = 1000 \times ((122500 - 982,5) \times 2300 \times 10^{-9}) + (982,5 \times 7850 \times 10^{-9}) = 287,20 \text{ kg/m}$$

Analisis Kekuatan

Tegangan pada beton serat atas (tekan).

$$\sigma_{ijin} = \frac{M \times Y}{Ix \cdot n} = \frac{M \times 218,76}{539.648.625,4 \times 7,55}$$

sehingga didapatkan

$$\text{nilai } M = 372.494.708,5 \text{ N.mm}$$

Tegangan pada baja serat bawah (tarik)

$$\sigma_{ijin} = \frac{M \times Y}{Ix}$$

$$280 = \frac{M \times 331,24}{539.648.625,4}$$

sehingga didapatkan

$$\text{nilai } M = 456.169.590,4 \text{ N.mm}$$

Sehingga penampang balok T tersebut memiliki kapasitas $M_{max} = 372.494.708,5 \text{ N.mm}$

Analisis Kapasitas Beban Merata Maksimal Yang Mampu Dipikul

$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2$$

$$372.494.708,5 = \frac{1}{8} \times q \times 6000^2$$

sehingga didapatkan

$$\text{nilai } q = 82,77 \text{ N/mm} = 8277 \text{ kg/m}$$

Analisis Kekakuan

$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot Ix} = \frac{5}{384} \frac{82,77 \cdot 6000^4}{26500 \times 539.648.625,4} = 12,94 \text{ mm}$$

Defleksi pada beban $q = 4,25 \text{ N/mm}$

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot Ix} = \frac{5}{384} \frac{4,25 \cdot 6000^4}{26500 \times 539.648.625,4} = 0,66 \text{ mm}$$

Balok T Beton Bertulang (Gambar 6)

Kasus penampang ini karena terdiri dari 2 materi beton dan baja tulangan maka akan dikonversi kedalam material beton. Parameter yang digunakan antara lain: 1) Modulus elastisitas beton, $E_c = 26,5 \text{ GPa}$. 2) Modulus elastisitas baja, $E_s = 200 \text{ GPa}$. 3) Kuat tekan beton (f'_c) = 20 MPa. 4) Kuat tarik beton (f_t) = 2 MPa. 5) Kuat tarik leleh baja (f_y) = 280 MPa.

Analisis Konversi Material Penampang

$$n = \frac{E_s}{E_c} = \frac{200}{26,5} = 7,55$$

Analisis karakteristik penampang konversi

Luas penampang tulangan
 $(A_{st}) = 2 \times 1/4 \times \pi \times D^2 = 2 \times 1/4 \times \pi \times 25^2 = 981,75 \text{ mm}^2$.

Luas penampang tulang yang ditransformasi ke beton (A') = $n \times A_{st}$
 $= 7,55 \times 981,75 = 7412,19 \text{ mm}^2$.

$$Y' = \frac{(A_c \times Y) + (A' \times 50)}{A_c + A'}$$

$$= \frac{(122500 \times 348,47) + (7412,19 \times 50)}{122500 + 7412,19}$$

$$= 331,44 \text{ mm}$$

Momen inersia (I_{xt}) =

$$\frac{1}{12} \times 550 \times 100^3 + 550 \times 100 \times (218,56 - 50)^2 + \frac{1}{12} \times 150 \times 450^3 + 150 \times 450 \times (331,44 - 225)^2 + \frac{1}{64} \times \pi \times 2 \times 25^2 \times 7412,12 \times (331,44 - 50)^2$$

$$= 4.099.424.122 \text{ mm}^4$$

Analisis Berat Sendiri/Bobot Mati

DL per m' = $1000 \times ((A_c \times B_{Jc}) + (A_{st} \times B_{Js})) = 1000 \times ((122500 - 981,775) \times 2300 \times 10^{-9}) + (981,775 \times 7850 \times 10^{-9}) = 287,20 \text{ kg/m}$

Analisis Kekuatan

Tegangan pada beton serat atas (tekan)

$$\sigma_{ijin} = \frac{M \times Y}{I_x}$$

$$20 = \frac{M \times 218,56}{4.099.424.122}$$

sehingga didapatkan

nilai $M = 375.130.318,6 \text{ N.mm}$

Dianggap kuat tarik beton = 0 MPa sehingga tegangan tarik dipikul oleh baja tulangan

$$\sigma_{ijin} = \frac{M \times Y}{I_x} \cdot n$$

$$280 = \frac{M \times (331,44 - 50)}{4.099.424.122} \cdot 7,55$$

sehingga didapatkan

nilai $M = 540.191.952,3 \text{ N.mm}$

Sehingga penampang balok T tersebut memiliki kapasitas $M_{max} = 375.130.318,6 \text{ N.mm}$

Analisis Kapasitas Beban Merata Maksimal Yang Mampu Dipikul

$$M = \frac{1}{8} \times q \times l^2$$

$$375.130.318,6 = \frac{1}{8} \times q \times 6000^2$$

sehingga didapatkan

nilai $q = 83,36 \text{ N/mm} = 8336 \text{ kg/m}$

Analisis Kekakuan

$$\Delta_{max} = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_x} = \frac{5}{384} \frac{83,36 \cdot 6000^4}{26500 \times 4.099.424.122}$$

$$= 12,95 \text{ mm}$$

Defleksi pada beban $q = 4,25 \text{ N/mm}$

$$\Delta = \frac{5}{384} \frac{q \cdot l^4}{E \cdot I_x} = \frac{5}{384} \frac{4,25 \cdot 6000^4}{26500 \times 4.099.424.122}$$

$$= 0,66 \text{ mm}$$

Dari Tabel 1. terlihat penampang balok berbahan beton pada prinsipnya tidak memberikan kapasitas kekuatan yang berarti. Pada penampang balok komposit 1 juga terlihat lebih getas dimana dari hasil perhitungan terlihat diawali dengan pola kegagalan pada serat tarik (serat bawah) akibat terlampauinya kapasitas tarik beton. Beton merupakan jenis material yang memiliki kuat tarik yang rendah karena tersusun atas bonding atau rekatan agregat dengan pasta semen. Penggunaan baja pada material komposit 2 dan 3 terbukti mampu meningkatkan kekuatan balok beton hingga 1961% dan kekakuan hingga 122,27%. Hal ini terjadi akibat adanya transfer tegangan antara serat tarik beton ke serta tarik baja. Material beton dan baja yang terikat dan bekerja menjadi satu kesatuan

akan memiliki nilai regangan yang sama namun nilai tegangan material akan berbeda. Terlihat material komposit 2 dan komposit 3 memiliki perbedaan dalam hal peningkatan kekuatan dan kekakuan. Hal ini menunjukkan bahwa posisi baja yang bekerja pada sebuah penampang komposit memiliki pengaruh terhadap peningkatan kekuatan khususnya nilai momen inersia penampang.

PENUTUP

Simpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari perilaku komposit pada kasus balok T antara lain :

1. Material beton tanpa tulangan memiliki kapasitas yang sebagian besar (75%) hanya untuk menahan berat mati balok
2. Penggunaan baja dalam beton sebagai material komposit memberikan kekuatan 1961% lebih kuat dan 122,7% lebih kaku bila dibandingkan material beton saja
3. Penggunaan balok T komposit baja-beton sangat efektif dan efisien dalam menahan beban yang bekerja dimana hanya 3,5% kapasitas yang digunakan untuk menahan berat sendiri struktur dan 96,5% kapasitas untuk memikul beban luar.
4. Penambahan baja ke dalam material beton komposit tidak memberikan pengaruh penambahan berat sendiri atau bobot mati yang signifikan
5. Meski memiliki kekuatan dan dan kekakuan yang sama,

balok komposit beton bertulang lebih unggul dari sisi ekonomi harga dan kemudahan pengerjaan dibandingkan menambah plat baja di bagian bawah balok T yang mengharuskan menambah *shear connector* atau *bonding agent*.

6. Penggunaan baja sebagai material komposit akan meningkatkan daktilitas dan merubah pola kegagalan menjadi kegagalan tekan pada serat atas balok.

Saran

Saran yang perlu dilakukan kajian selanjutnya antara lain:

1. Diperlukan studi eksperimental skala penuh untuk membuktikan tingkat validitas metode “n” atau konversi penampang dengan kondisi sesungguhnya.
2. Dalam perencanaan penampang komposit sebaiknya dilakukan disain dalam kondisi “balance” dimana kegagalan secara bersama-sama terjadi pada serat tekan dan tarik sehingga lebih ekonomis dan optimal

DAFTAR PUSTAKA

- DPU, 1971. *Peraturan Beton Bertulang Indonesia*. N.1-2. Direktorat Penyelidikan Masalah Bangunan. Bandung: Departemen Pekerjaan Umum.
- Gere, James M. 2013. *Mechanics of materials*. Eight edition. Stanford: Cengage Learning.