DAFTAR PUSTAKA

ACI Committee 544. 2014. Fiber Reinforced Concrete. Farmington Hills, Mich: American Concrete Institute.

ACI. Committee 440.2R-08, 2008. Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. American Concrete Institute. U.S.A.

Alami, Fikri. 2010. Perkuatan Lentur Balok Beton Bertulang dengan Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP-S). Seminar dan Pameran HAKI.

Annisa, Andi Safirah. 2021. Failure Pattern Analysis Of Reinforced Concrete Beams Strengthened With Mortar Grouting And Pva Fiber. Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin.

Asroni Ali. 2010. Balok dan Pelat Beton Bertulang. Graha Ilmu. Yogyakarta.

Asrullah. 2018. Kuat Tekan Beton dengan Menggunakan Sika Concrete Refair Mortar Sebagai Pengganti Semen Pada Campuran Beton K-300. Jurnal Teknik Sipil UNPAL Vol 8, No.2.

Badan Standard Nasional Indonesia. 2002. SNI-03-2847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2002. SNI 03-6825-2002 Metode Pengujian Kekuatan Tekan Mortar Semen Portland Untuk Pekerjan Sipil. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2011. SNI 4431:2011 Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal Dengan Dua Titik Pembebanan. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2014. SNI 2491:2014 Metode Uji Kekuatan Tarik Belah Spesimen Beton Silinder. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

Badan Standardisasi Nasional. 2017. SNI 2052:2017 Baja Tulangan Beton. Jakarta : Badan Standarisasi Nasional.

Djamaluddin, R. and Hino, S. 2011. Kapasitas Lentur Perkuatan Balok Beton Bertulang yang Telah Meleleh dengan Menggunakan Lembaran GFRP.Dinamika Teknik Sipil 11(3): 293 - 300.

Djamaluddin, R., Akkas, M. and Hasanuddin, H. A. 2011. Debonding Behavior of GFRP Sheet Reinforced Concrete. *EACEF 2013* : SC-136.

Hariati, and Astutik, Yayuk Setyaning. 2020. Studi Komparatif Kerusakan Beton Pada Struktur Kolom Yang Keropos Dengan Metode Grouting. Teknik Sipil Universitas Internasional Batam.

Husain, Muh. Hushardi. 2018. Penelitian Tentang Pengaruh Perkuatan Geser GFRP Sheet Terhadap Perilaku Pola Kegagalan. Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin.

McCormac, Jack C.2001. Desain Beton Bertulang Edisi Kelima Jilid 1 dan 2. Jakarta: Erlangga.

Nawy, Edward G. 1990. Beton Bertulang – Suatu Pendekatan Dasar. Jakarta : Penerbit Erlangga.

Nawy, Edward G. 1998. Reinforced Concrete: A Fundamental Approach (Bambang Suryatmojo, Trans.). Bandung:Refika Aditama. (Karya asli diterbitkan 1985).

Nawy, Edward G. 2003. Reinforced Concrete: A Fundamental Approach (Fifth Edition), Prentice-Hall International. Jakarta : Penerbit Erlangga.

Rusandy, R. 2016. Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang dengan Perkuatan Geser GFRP. Universitas Hasanuddin.

Sulardi. 2018. Metode Perbaikan Spalling dan Delaminating Beton Pondasi Pompa dengan Metode Grouting Flowable Microconcrete. Media Ilmiah Teknik Sipil, Vol.6, 72-78.

LAMPIRAN

Perhitungan Kapasitas Momen – Balok Kontrol (BK)

1. Data Perencanaan

Kuat tekan beton	f'_c	=	**20.0**	MPa			
Kuat leleh tulangan tarik	f_y	=	**280**	MPa			
Kuat leleh tulangan tekan	f_y	=	**280.0**	MPa			
Kuat leleh tulangan transversal	f_y	=	**280**	MPa			
Modulus elastisitas beton	E_c	=	**21533.0**	MPa			
Modulus elastisitas baja	E_s	=	**200000**	MPa			
Berat jenis beton	γ_c	=	**2400**	kg/m^3			
Lebar penampang	b	=	**150**	mm			
Tinggi penampang	h	=	**200**	mm			
Tinggi efektif penampang	d	=	**155.50**	mm			
Jarak tulangan tekan ke serat tekan terluar	d'	=	**42.00**	mm			
Luas tulangan tarik	A_s	=	**3**	D	**13**	=	398.20 mm^2
Luas tulangan tekan	A_s'	=	**2**	D	**8**	=	100.53 mm^2
Luas tulangan sengkang	A_{vs}	=	**2**	D	**8**	=	100.53mm^2

2. Momen Retak Pertama (M_{cr})

Pada kondisi retak pertama, momen retak (M_{crack}) terjadi pada saat serat tarik penampang balok mencapai modulus keruntuhan (F_r). Oleh SNI 2847.2013 pasal 9.5.2.3 diberikan persamaan sebagai berikut

$$\mathbf{M_{crack}} = \frac{\mathbf{I_g \cdot f_r}}{\mathbf{y_t}}$$

Diketahui:

Hasil uji modulus keruntuhan f_r $0.7 \times F_c^{0.5}$ = 3.21 MPa

Momen inersia penampang bruto :

$$I_g = \frac{b\ h^3}{12}$$

$$= 112435956.7 \quad mm^4$$

$y_{bawah} = h - y_{atas} = 96.05$ mm

$$M_{crack} = \frac{I_g\ f_r}{y_t}$$

$$= \frac{112435956.7 \ . \ 3.21}{96.05}$$

$$= 3754168.576 \quad N.mm$$

M_{crack} = 3.7542 kN.m

Nilai P_{crack} diperoleh dengan cara substitusi M_{crack} ke persamaan :

M = 0.8019 + 0.6 P

3.7542 = 0.8019 + 0.6P

Diperoleh

P_{cr} = 4.9204 kN

3. Momen Leleh (M_{yield})

Direncanakan menggunakan tulangan :

A_s = **3** D **13** = 398.20 mm^2

A_s' = **2** D **8** = 100.53 mm^2

Awal tulangan leleh

$$= \frac{E_s}{E_c} = 9.3 \quad ; \quad nf = \frac{E_f}{E_c} = 0.97$$

k = 0.44065

kd = 68.521 mm

Regangan tulangan tarik dari ujung atas balok

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{280}{200000}$$

ε_y = 0.0014

Regangan beton bagian atas

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \frac{k\ d}{d - k\ d}$$

$$= 0.0014 \cdot \frac{68.52}{155.50 - 68.52} \cdot 1$$

ε_c = 0.001103

Regangan tulangan tekan

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_c \frac{k\ d - d'}{k\ d}$$

$$= 0.0011 \cdot \frac{68.521 - 42.00}{68.52}$$

ε_s' = 0.000427

$$f_s' = E_s\ \varepsilon_s'$$

$$= 200000 \cdot 0.000\,4$$

$$= 85.376 \text{ MPa}$$

… **bila nilai f_s' lebih kecil dari nol gunakan nol**

f_s' = 85.376 MPa

Gaya tekan beton

$$C_c = 0.5\ f'_c\ b\ k\ d$$

$$= 0.5 \cdot 20 \cdot 150.00 \cdot 68.52$$

C_c = 107869.30 N

Gaya tekan baja

$$C_s = A_s'\ f_s'$$

$$= 100.53 \cdot 85.376$$

C_s = 8582.92 N

$$T = C_c + C_s$$

$$= 107869.30 + 8582.92$$

T = 116452.22 N

$T = A_s \; f_y$

$= 111495.12 \quad N$

Nilai selisih T harus mendekati nol

$C_c + C_s - A_s \; f_y = 0$

$116452.22 - 111495.12 = -4957.09718$

$= -4957.1$

k = 0.44065

Jarak gaya (c) dari ujung atas (y)

$$y = \frac{C_s \; d' + C_c \; . \; 0.33 \; k \; d}{T}$$

$$= \frac{8582.92 \; . \; 42.00 + 107869.30 \; . \; 22.84}{116452.22}$$

$y = 24.252 \quad mm$

Jarak pusat total gaya tekan ke pusat tulangan tarik

$J_d = d - y$

$= 155.50 - 24.252$

J_d = 131.25 mm

Persamaan momen dan kurvatur

$M_y = A_s \; f_y \; J_d$

$= 14633457.53 \quad N.mm$

My= 14.63 kN.m

14.63 = 0.8019 + 0.6 P kN.m

$M_y = M_{maks \text{ pada tengah bentang}}$

$14.63 = 0.8019 + 0.6 \; P$

$13.83 = 0.6 \; P$

P = 23.05 kN

4. Momen Ultimit (Mu)

$Mu = \Phi \; Mn$

$Mu = \Phi * As * fy * \left(d - \frac{a}{2} \right)$ faktor reduksi untuk lentur $\Phi = 0.9$

dimana :

Untuk $f'_c \leq 20$ MPa

$\beta_1 = 0.85$

Untuk $f'_c > 20$ MPa

$$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05 \ (f'_c - 20)}{7}$$

Karena $f'_c = 20$ MPa

Maka **$\beta_1 = 0.85$**

$$a_b = \frac{600 \ \beta_1 \ d}{600 + f_y} = \frac{600 \ . \ 0.85 \ . \ 155.50}{600 + 280.00}$$

$a_b = 90.119$ mm

$$\rho_b = \frac{As_b}{b \ d}$$

$$= \frac{0.85 \ f'_c \ a_b}{f_y \ d} = \frac{0.85 \ . \ 20 \ . \ 90.119}{280 \ . \ 155.5}$$

$\rho_b = 3.69\%$

$$\rho_{max} = 0.75 \ \rho_b = 0.0277$$

$\rho_{max} = 2.77\%$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = 0.005$$

$\rho_{min} = 0.50\%$

$$\rho = (A_s - A_s') = (398.2 - 100.53)$$

$\rho = 1.28\%$

Kontrol Tulangan Tekan Sudah Leleh atau Belum

$$a = \frac{(A_s - A_s') \ f_y}{0.85 \ f'_c \ b}$$

$$= \frac{(398.197 - 100.53096) \ . \ 280}{0.85 \ . \ 20.99 \ . \ 150}$$

$a = 31.143$ mm

$$a_{min\ leleh} = \frac{600\ \beta_1\ d'}{600 - f_y}$$

$$= \frac{600 \cdot 0.85 \cdot 42}{600 - 280}$$

$a_{min\ leleh}$ = 66.938 mm

$M_n = M_{nc} + M_{ns}$

M_n = 15006733.09 N.mm atau **M_n = 1.50067 t.m**

Ø M_n = 12005386.47 N.mm atau **Ø M_n = 1.20054 t.m**

Ø $M_n = M_{maks}$

1.2005 = 0.0802 + 0.6 P

1.1203 = 0.6 P

P_{maks} = 1.86725 ton

Untuk beban 0.5 P maka : **0.5 P_{maks} = 0.93362 ton**

$M_n = M_{maks}$

1.5007 = 0.0802 + 0.6 P

1.4205 = 0.6 P

P_{maks} = 2.36747 ton

Untuk beban 0.5 P maka : **0.5 P_{maks} = 1.18374 ton**

P_u = 23.67 kN

Perhitungan Kapasitas Momen – Balok Grouting (BGR)

1. Data Perencanaan

Kuat tekan beton	f'_c	=	**20.0**	MPa			
Kuat leleh tulangan tarik	f_y	=	**280**	MPa			
Kuat leleh tulangan tekan	f_y	=	**280.0**	MPa			
Kuat leleh tulangan transversal	f_y	=	**280**	MPa			
Modulus elastisitas beton	E_c	=	**21532.98**	MPa			
Modulus elastisitas baja	E_s	=	**200000**	MPa			
Berat jenis beton	γ_c	=	**2400**	kg/m^3			
Lebar penampang	b	=	**150**	mm			
Tinggi penampang	h	=	**200**	mm			
Tinggi efektif penampang	d	=	**158.00**	mm			
Jarak tulangan tekan ke serat tekan terluar	d'	=	**42.00**	mm			
Luas tulangan tarik	A_s	=	**3**	Ø	**8**	=	150.8 mm^2
Luas tulangan tekan	A_s'	=	**2**	D	**8**	=	100.53 mm^2
Luas tulangan sengkang	A_{vs}	=	**2**	D	**8**	=	100.54mm^2

2. Momen Retak Pertama (M_{cr})

Pada kondisi retak pertama, momen retak (M_{crack}) terjadi pada saat serat tarik penampang balok mencapai modulus keruntuhan (F_r). Oleh SNI 2847.2013 pasal 9.5.2.3 diberikan persamaan sebagai berikut

$$\mathbf{M_{crack}} = \frac{\mathbf{I_g \cdot f_r}}{\mathbf{y_t}}$$

Diketahui:

Hasil uji modulus keruntuhan f_r $0.7 \times F_c^{0.5}$ = 3.21 MPa

Momen inersia penampang bruto :

$$I_g = \frac{b \quad h^3}{12}$$

$= 106989086.3 \ mm^4$

$y_{bawah} = h - y_{atas} = 99.25 \ mm$

$M_{crack} = \frac{I_g \ f_r}{y_t}$

$= \frac{106989086.3 \ . \ 3.21}{99.25}$

$= 3457219.615 \ N.mm$

$M_{crack} = 3.4572 \ kN.m$

Nilai P_{crack} diperoleh dengan cara substitusi M_{crack} ke persamaan :

$M = 0.8019 + 0.6 \ P$

$3.4572 = 0.8019 + 0.6P$

Diperoleh

$P_{cr} = 4.4255 \ kN$

3. Momen Leleh (M_{yield})

Direncanakan menggunakan tulangan :

$A_s = 3 \ Ø \ 8 = 150.8 \ mm^2$

$A_s' = 2 \ D \ 8 = 100.53 \ mm^2$

Awal tulangan leleh

$= \frac{E_s}{E_c} = 9.3 \ ; \ nf = \frac{E_f}{E_c} = 0.97$

$k = 0.44065$

$kd = 69.623 \ mm$

Regangan tulangan tarik dari ujung atas balok

$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{280}{200000}$

$\varepsilon_y = 0.0014$

Regangan beton bagian atas

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \frac{k\ d}{d - k\ d}$$

$$= 0.0014 \cdot \frac{69.62}{158.00 - 69.62}$$

$\varepsilon_c = 0.001103$

Regangan tulangan tekan

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_c \frac{k\ d - d'}{k\ d}$$

$$= 0.0011 \cdot \frac{69.623 - 42.00}{69.62}$$

$\varepsilon_s' = 0.000438$

$$f_s' = E_s\ \varepsilon_s'$$

$$= 200000 \cdot 0.0004$$

$$= 87.515 \text{ MPa}$$

… **bila nilai f_s' lebih kecil dari nol gunakan nol**

$f_s' = 87.515$ MPa

Gaya tekan beton

$$C_c = 0.5\ f'_c\ b\ k\ d$$

$$= 0.5 \cdot 20 \cdot 150.00 \cdot 69.62$$

$C_c = 109603.54$ N

Gaya tekan baja

$$C_s = A_s'\ f_s'$$

$$= 100.53 \cdot 857.515$$

$C_s = 8797.99$ N

$$T = C_c + C_s$$

$$= 109603.54 + 8797.99$$

$T = 118401.52$ N

$$T = A_s\ f_y$$

$$= 42223.01 \text{ N}$$

Nilai selisih T harus mendekati nol

$$C_c + C_s - A_s\ f_y = 0$$

$$118401.52 - 42223.01 = -76178.5165$$

= -766178.52

k = 0.44065

Jarak gaya (c) dari ujung atas (y)

$$y = \frac{C_s\ d' + C_c\ .\ 0.33\ k\ d}{T}$$

$$= \frac{8797.99\ .\ 42.00 + 109603.54\ .\ 23.21}{118401.52}$$

y = 24.604 mm

Jarak pusat total gaya tekan ke pusat tulangan tarik

$J_d = d - y$

$= 158.00 - 24.604$

J_d = 133.40 mm

Persamaan momen dan kurvatur

$M_y = A_s\ f_y\ J_d$

= 5632381.53 N.mm

My= 5.63 kN.m

14.63 = 0.8019 + 0.6 P kN.m

$M_y = M_{maks\ pada\ tengah\ bentang}$

5.63 = 0.8019 + 0.6 P

4.83 = 0.6 P

P = 8.05 kN

4. Momen Ultimit (Mu)

Mu = Φ Mn

$Mu = \Phi * As * fy * \left(d - \frac{a}{2} \right)$ faktor reduksi untuk lentur Φ = 0.9

dimana :

Untuk $f'_c \leq 20$ MPa

$\beta_1 = 0.85$

Untuk $f'_c > 20$ MPa

$\beta_1 = 0.85 - \frac{0.05\ (f'_c - 20)}{}$

7

Karena f'_c = 20 MPa

Maka **β_1 = 0.85**

$$a_b = \frac{600\ \beta_1\ d}{600 + f_y} = \frac{600 \cdot 0.85 \cdot 158.00}{600 + 280.00}$$

a_b = 91.568 mm

$$\rho_b = \frac{As_b}{b\ d}$$

$$= \frac{0.85\ f'_c\ a_b}{f_y\ d} = \frac{0.85 \cdot 20 \cdot 91.568}{280 \cdot 158}$$

ρ_b = 3.69%

ρ_{max} = 0.75 ρ_b = 0.0277

ρ_{max} = 2.77%

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = 0.005$$

ρ_{min} = 0.50%

$$\rho = (A_s - A_s') = (150.8 - 100.53)$$

ρ = 0.21%

Kontrol Tulangan Tekan Sudah Leleh atau Belum

$$a = \frac{(A_s - A_s')\ f_y}{0.85\ f'_c\ b}$$

$$= \frac{(150.796 - 100.53096) \cdot 280}{0.85 \cdot 20 \cdot 150}$$

a = 5.259 mm

$$a_{min\ leleh} = \frac{600\ \beta_1\ d'}{600 - f_y}$$

$$= \frac{600 \cdot 0.85 \cdot 42}{600 - 280}$$

$a_{min\ leleh}$ = 66.938 mm

$M_n = M_{nc} + M_{ns}$

M_n = 9800917.405 N.mm atau **M_n = 0.98009 t.m**

Ø M_n = 7840733.924 N.mm atau **Ø M_n = 0.78407 t.m**

Ø M_n = M_{maks}

0.7841 = 0.0802 + 0.6 P

0.7039 = 0.6 P

P_{maks} = 1.49984 ton

Untuk beban 0.5 P maka : **0.5 P_{maks} = 0.58657 ton**

M_n = M_{maks}

0.9801 = 0.0802 + 0.6 P

0.8999 = 0.6 P

P_{maks} = 1.49984 ton

Untuk beban 0.5 P maka : **0.5 P_{maks} = 0.74992 ton**

P_u = 15 kN

Perhitungan Kapasitas Momen – Balok Grouting GFRP (BGRFS)

1. Data Perencanaan

Kuat tekan beton	f'_c	=	**20.0**			MPa	
Kuat leleh tulangan tarik	f_y	=	**280**			MPa	
Kuat leleh tulangan tekan	f_y	=	**280.0**			MPa	
Kuat leleh tulangan transversal	f_y	=	**280**			MPa	
Modulus elastisitas beton	E_c	=	**21532.98**			MPa	
Modulus elastisitas baja	E_s	=	**200000**			MPa	
Berat jenis beton	γ_c	=	**2400**			kg/m^3	
Lebar penampang	b	=	**150**			mm	
Tinggi penampang	h	=	**200**			mm	
Tinggi efektif penampang	d	=	**158.00**			mm	
Jarak tulangan tekan ke serat tekan terluar	d'	=	**42.00**			mm	
Luas tulangan tarik	A_s	=	**3**	Ø	**8**	=	150.8 mm^2
Luas tulangan tekan	A_s'	=	**2**	D	**8**	=	100.53 mm^2
Luas tulangan sengkang	A_{vs}	=	**2**	D	**8**	=	100.55mm^2

2. Momen Retak Pertama (M_{cr})

Pada kondisi retak pertama, momen retak (M_{crack}) terjadi pada saat serat tarik penampang balok mencapai modulus keruntuhan (F_r). Oleh SNI 2847.2013 pasal 9.5.2.3 diberikan persamaan sebagai berikut

$$\mathbf{M_{crack}} = \frac{\mathbf{I_g \cdot f_r}}{\mathbf{y_t}}$$

Diketahui:

Hasil uji modulus keruntuhan f_r $0.7 \times F_c^{0.5}$ = 3.21 MPa

Momen inersia penampang bruto :

$$I_g = \frac{b \quad h^3}{12}$$

$= 114268833.1 \ mm^4$

$y_{bawah} = h - y_{atas} = 98.29 \ mm$

$M_{crack} = \frac{I_g \ f_r}{y_t}$

$= \frac{114268833.1 \ . \ 3.21}{99.25}$

$= 3728524.315 \ N.mm$

$M_{crack} = 3.7285 \ kN.m$

Nilai P_{crack} diperoleh dengan cara substitusi M_{crack} ke persamaan :

$M = 0.8019 + 0.6 \ P$

$3.7285 = 0.8019 + 0.6P$

Diperoleh

$P_{cr} = 4.877$ kN

3. Momen Leleh (M_{yield})

Direncanakan menggunakan tulangan :

$A_s = 3 \ Ø \ 8 = 150.8 \ mm^2$

$A_s' = 2 \ D \ 8 = 100.53 \ mm^2$

Awal tulangan leleh

$= \frac{E_s}{E_c} = 9.3 \ ; \ nf = \frac{E_f}{E_c} = 0.97$

$k = 0.4016$

$kd = 81.364$ mm

Regangan tulangan tarik dari ujung atas balok

$\varepsilon_y = \frac{f_y}{E_s} = \frac{280}{200000}$ **$\varepsilon_y = 0.0014$**

Regangan beton bagian atas

$$\varepsilon_c = \varepsilon_s \frac{k\ d}{d - k\ d}$$

$$= 0.0014 \cdot \frac{81.36}{158.00 - 81.36}$$

$\varepsilon_c = 0.001537$

Regangan tulangan tekan

$$\varepsilon_s' = \varepsilon_c \frac{k\ d - d'}{k\ d}$$

$$= 0.0015 \cdot \frac{81.364 - 42.00}{81.36}$$

$\varepsilon_s' = 0.002265$

$$f_s' = E_s\ \varepsilon_s'$$

$$= 200000 \cdot 0.0007$$

$$= 148.67 \text{ MPa}$$

… **bila nilai f_s' lebih kecil dari nol gunakan nol**

$f_s' = 148.67$ MPa

Gaya tekan beton

$$C_c = 0.5\ f'_c\ b\ k\ d$$

$$= 0.5 \cdot 20 \cdot 150.00 \cdot 81.36$$

$C_c = 128087.53$ N

Gaya tekan baja

$$C_s = A_s'\ f_s'$$

$$= 100.53 \cdot 148.67$$

$C_s = 14946.20$ N

$$T = C_c + C_s$$

$$= 128087.53 + 8797.99$$

$T = 143033.72$ N

$$T = A_s\ f_y$$

$$= 120725.72 \text{ N}$$

Nilai selisih T harus mendekati nol

$$C_c + C_s - A_s\ f_y = 0$$

$$143033.72 - 120725.72 = -22308.006$$

= -22308.01

k = 0.4016

Jarak gaya (c) dari ujung atas (y)

$$y = \frac{C_s \; d' + C_c \; . \; 0.33 \; k \; d}{T}$$

$$= \frac{14946.20 \; . \; 42.00 + 128087.53 \; . \; 27.12}{143033.72}$$

y = 28.676 mm

Jarak pusat total gaya tekan ke pusat tulangan tarik

$J_d = d - y$

$= 158.00 - 28.676$

J_d = 120.82 mm

Persamaan momen dan kurvatur

$M_y = A_s \; f_y \; J_d$

= 5632381.53 N.mm

My= 15.31 kN.m

15.31 = 0.8019 + 0.6 P kN.m

$M_y = M_{maks \text{ pada tengah bentang}}$

15.31 = 0.8019 + 0.6 P

14.51 = 0.6 P

P = 24.18 kN

4. Momen Ultimit (Mu)

Mu = Φ Mn

$Mu = \Phi * As * fy * \left(d - \frac{a}{2} \right)$ faktor reduksi untuk lentur Φ = 0.9

dimana :

Material yang digunakan : **GFRP**

Lokasi balok berada di **Interior**
sehingga digunakan

C_E = **0.75**

f_{fu} = C_E f^*_{fu}
= 0.75 . 460
= 345 N/mm^2

ε_{fu} = C_E ε^*_{fu}
= 0.75 . 0.02
= 0.015 mm/mm

Perhitungan *pre-eliminary*

$\beta_1 = 1.05 - 0.05 \frac{f'_c}{6.9}$

$= 1.05 - 0.05 . \frac{20.99}{6.9}$ **β_1 = 0.8979**

A_s = 3 D 13
= $3 . \frac{1}{4} \pi . 13^2$ **A_s = 398.1969 mm^2**

A_s' = 2 D 8
= $2 . \frac{1}{4} \pi . 8^2$ **A_s' = 100.531 mm^2**

digunakan **1** lembar GFRP tebal **1.3** mm

A_f = n t_f w_f
= 1 . 1.3 . 150 **A_f = 195 mm^2**

Nilai regangan balok sebelum balok ditempel FRP

Beban yang bekerja pada saat FRP ditempel hanya berat sendiri balok

$n_{ekivalen\ tulangan\ ke\ beton}$ = 9.2881

Untuk memperkirakan nilai c dapat digunakan

$0 = \frac{w_f\ c^2}{2} + [\ n\ A_s + (\ n - 1\ )\ ]\ c -$

$- (\ n - 1\ )\ A_s'\ d'$

$0 = \frac{150}{2} . c^2 + 3706.8\ c - 575114 - 349$

$0 = 75\ c^2 + 3706.8\ c - 610109$

maka c = **68.80536** mm

berdasarkan hasil analisa awal leleh maka :

k = **0.44065** (saat kondisi awal tulangan leleh setelah retak)

c = k d
= 68.52108 mm

Menentukan nilai regangan desain untuk FRP

$$\varepsilon_{fd} = 0.41 \left(\frac{f'_c}{n \; E_f \; t_f} \right)^{0.5} \leq 0.9 \; \varepsilon_{fu}$$

$$= 0.41 \left(\frac{20.99}{1 \; . \; 20900 \; . \; 1.3} \right)^{0.5}$$

$$= 0.011396 \leq 0.9 \; . \; 0.02$$

$$0.011396 < 0.018$$

… debonding akan terjadi sebelum FRP putus

gunakan

ε_{fd} = 0.011396

Perkiraan nilai c (akan dicek kembali nantinya)

nilai c perkiraan sekitar

c = 0.2 d

(nilai c selanjutnya akan dicek kembali apakah sesuai atau tidak)

c = 0.2 d
= 0.2 . 155.5
= 31.1 mm

coba nilai

c = 60.823 mm

Menghitung tegangan yang terjadi pada tulangan dan FRP

$f_s = E_s \; \varepsilon_s \leq f_y$
$= 200000 \; . \; 0.00467$
$= 933.9557102 \; N/mm^2$

$f_s = 933.9557 > 280$
$f_s' = 185.6839882 < 280$

gunakan

$f_s = 280 \; N/mm^2$
$f_s' = 185.6839882 \; N/mm^2$

$f_{fe} = E_f \varepsilon_{fe}$

$= 20900 . 0.006863$

$= 143.4342048 \ N/mm^2$

Mengecek kesesuaian nilai *c*

$$\varepsilon'_c = \frac{1.7 f'_c}{E_c}$$

$$= \frac{1.7 . 20.99}{21532.97704}$$

$= 0.001657$

$$\beta_1 = \frac{4 \varepsilon'_c - \varepsilon_c}{6 \varepsilon'_c - 2 \varepsilon_c}$$

$$= \frac{4 . 0.001657 - 0.003}{6 . 0.001657 - 2 . 0.003}$$

$= 0.920294$

$$\alpha_1 = \frac{3 \varepsilon'_c \varepsilon_c - \varepsilon_c^2}{3 \beta_1 \varepsilon'^2_c}$$

$= 0.780069$

$$c = \frac{A_s f_s + A_f f_{fe} - A_s' f_s'}{\alpha_1 f'_c \beta_1 w_f}$$

$= 53.44358$ mm

Kontribusi tulangan terhadap kuat lentur

$$M_{ns} = A_s f_s \left(d - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

$=$ **14217013.2 N.mm**

$M_{ns}' = A_s' (d - d')$

$= 101 . 185.68 . (156 - 42)$

M_{ns}' = 2118703.42 N.mm $= 0.211 \ t.m$

Kontribusi FRP terhadap kuat lentur

$$M_{nf} = A_f f_{fe} \left(d_f - \frac{\beta_1 c}{2} \right)$$

M_{nf} = 4811130.67 N.mm	= 0.4811 t.m

Kuat lentur nominal gabungan

$$\emptyset M_n = [M_{ns} + M_{ns}' + \psi_f M_{nf}]$$
$$= 1 [1.4217 + 0.2119 + 1 . 0.4811131]$$
$$= 2.11 \text{ t.m}$$

$$M_n =$$
$$2.11468 = 0.0802 + 0.6 P$$
$$2.03449 = 0.6 P$$

P_u = 33.91 kN

Untuk Perhitungan lendutan secara teoritis dilakukan yaitu :

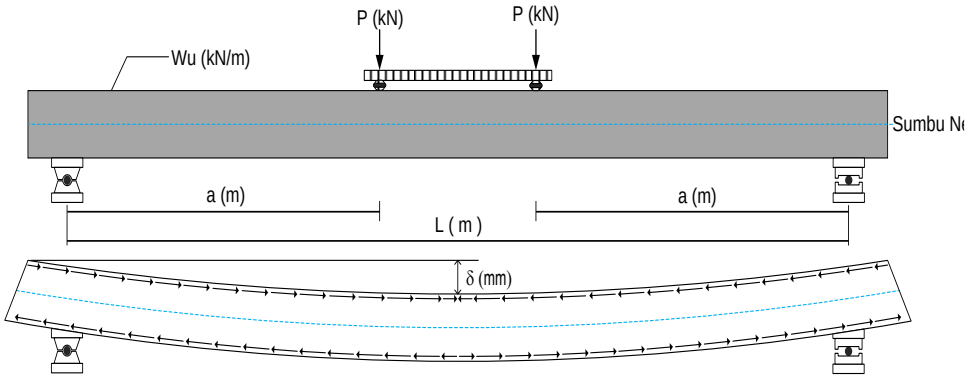
Dimana:

Ec = 21533 Mpa = 21.5 kN/mm^2

a = 1200 mm

L = 3000 mm

q = 0.9 kN/m = 0.0009 kN/mm



Untuk Icr

$$\delta = \frac{1}{24} \times \frac{P * a}{Ec * Icr} \times \left[3*L^2 - 4a^2\right] + \frac{5}{384} \times \frac{q * L^4}{Ec * Icr}$$

$$= 0.042 \times \frac{1200P}{9.6E+08} \times 2.1E+07 + 0.013 \times \frac{72900000000}{957429493.9}$$

$$= 1.109220059\ P + 0.99142418$$

Untuk Ig

$$\delta = \frac{1}{24} \times \frac{P * a}{Ec * Ig} \times \left[3*L^2 - 4a^2\right] + \frac{5}{384} \times \frac{q * L^4}{Ec * Ig}$$

$$= 0.042 \times \frac{1200P}{2.2E+09} \times 2.1E+07 + 0.013 \times \frac{72900000000}{2153298000}$$

$$= 0.493196947\ P + 0.44082089$$