JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil
Vol. 3, No. 4, November 2020 hlm 1271-1282

EISSN 2622-545X

ANALISIS RANGKAK SUSUT BETON TERHADAP TEGANGAN DAN LENDUTAN BERDASARKAN BEBERAPA PERATURAN PADA JEMBATAN PRATEGANG

Kevin Wijaya[1] dan FX Supartono[2]

[1]Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Kevin.325160155@stu.untar.ac.id

[21]Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
fxsupartono@stu.untar.ac.id

Masuk: 3-7-2020, revisi: 14-8-2020, diterima untuk diterbitkan: 4-10-2020

ABSTRACT

Prestress losses are one of the important factors that used in prestress concrete construction design. Prestress losses generally divided into immediately losses and time dependent losses. On the process of bridge construction, the prestress losses caused by time dependent have a big influence on the deflection and stressess results that because the life services of bridges normally more than 10 years. If there are any error occurs in calculating the effect of time dependent losses, then the deflection that occurs when life service could exceed the maximum allowed deflection. Therefore, the purpose on making this thesis is to analyst how much the influences of time dependent effect (creep and shrinkage) using 3 different methods, that is ACI209.2R-08, CEB-FIB MC90 and EN-1992-1-1. This bridge has total span length of 60m with rolled-joint placement and single span type. Using double cellular prestress concrete as girder. Stages of loading apply a superimposed deadload, creep and shrinkage using a interval duration of 7,30 and 10000 days. This analysit was carried out by using MIDAS 2020 software. The result of this analyist showed the deflection that occurs with the 3 different methods is quite similiar. And the deflection after construction still below the maximum allowable deflection.

Keywords : prestress concrete; prestress losses; creep; shrinkage; deflection

ABSTRAK

Kehilangan prategang atau yang biasa disebut *prestress losses* adalah komponen penting dalam konstruksi menggunakan beton prategang. *Prestress losses* dibagi menjadi dua yaitu *immediately losses* dan *time dependent losses*. Dalam proses konstruksi jembatan, *prestress losses* yang diakibatkan oleh *time dependent* sangatlah berpengaruh terhadap lendutan dan tegangan yang dihasilkan karena umur layan jembatan biasanya berkisar hingga 10 tahun keatas, jika salah dalam memperhitungkan efek dari *time dependent losses* maka lendutan yang terjadi dapat melampaui batas ijin lendutan sehingga dapat menyebabkan jembatan collapse. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh *time dependent losses* mengcakup *creep* dan *shrinkage* dengan menggunakan 3 metode yang berbeda yaitu ACI209.2R-08, CEB-FIB MC90 dan EN-1992-1-1. Jembatan yang didesain memiliki panjang 60m dengan perletakan sendi-rol dan jenis jembatan single span. Menggunakan *double cellular prestress concrete* sebagai *girder*. Interval analisis adalah 7 hari , 30 hari dan 10000 hari. Analisis digunakan menggunakan program Midas Civil 2020. Hasil dari analisis ini menunjukkan bahwa tegangan dan lendutan yang dihasilkan dari ketiga metode relatif identik dan lendutan yang terjadi hingga 10000 hari masih dalam batas ijin.

Kata kunci : beton prategang; kehilangan prategang; rangkak; susut; lendutan

1. PENDAHULUAN

Jembatan adalah suatu konstruksi yang berfungsi menghubungkan dua daratan yang terputus akibat adanya rintangan, rintangan tersebut bisa berupa sungai, danau, lembah, rel kereta maupun kota. Fungsi utama jembatan itu sendiri adalah untuk memperlancar arus lalu lintas yang dimana arus kendaraan akan meningkat seiring berjalannya waktu (Supriyadi & Setyo Muthohar, 2007). Oleh karena itu jembatan harus dibuat cukup kuat karena kerusakan dari jembatan dapat menimbulkan gangguan terhadap arus lalu lintas. Namun bukan berarti jembatan harus dibuat kokoh dan kuat berlebihan, jembatan harus tetap memenuhi aspek ekonomis dan tetap memiliki kekuatan yang baik, menggunakan mutu bahan yang tinggi dan waktu konstruksi yang cepat. Salah satu sistem yang cocok dan banyak digunakan saat ini adalah jembatan beton prategang (*Prestressed bridge*).

Beton prategang adalah jenis struktur beton dengan memberi tegangan awal pada struktur dengan arah berlawanan dengan arah beban yang diberikan. Sistem prategang bekerja dengan cara menarik baja mutu tinggi atau biasa yang disebut tendon. Jenis beton yang digunakan harus bermutu tinggi (fc' ≥ 40 MPa) karena jenis tendon yang digunakan adalah baja bermutu tinggi agar beton dapat menahan gaya yang diberikan tendon. Penggunaan beton prategang dalam konstruksi jembatan semakain banyak digunakan karena dianggap memberikan kemudahaan disebabkan beton prategang memiliki dimensi yang lebih kecil dan jumlah baja yang digunakan lebih sedikit dari beton biasa. Namun permasalahan timbul dari penggunaan beton prategang yaitu adanya *losses* (kehilangan) yang terjadi. *Losses* yang terjadi sangat berpengaruh khususnya *losses* yang disebabkan oleh waktu *(time dependent*) karena jembatan pada umumnya memiliki waktu layan lebih dari 10 tahun. Jika perhitungan *losses* tidak dilakukan dengan benar, besar kemungkinan jembatan akan mengalami *collapse* akibat lendutan yang berlebihan. Maka dari itu, tugas akhir ini akan menganalisis pengaruh rangkak dan susut dengan menggunakan ketiga metode (ACI209.2R-08, CEB-FIB MC90 dan EN-1992-1-1) pada jembatan prategang.

Rumusan masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah bagaimana pengaruh efek rangkak dan susut dengan menggunakan metode ACI209.2R-08, CEB-FIB MC90 dan EN-1992-1-1 terhadap hasil lendutan dan tegangan. Dan apakah lendutan yang terjadi masih dalam batas lendutan ijin.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui dan membandingkan sejauh mana pengaruh dari efek rangkak dan susut dengan menggunakan 3 metode terhadap tegangan dan lendutan yang terjadi.

Rangkak dan susut

1. Rangkak

Rangkak beton adalah nilai regangan tambahan yang terdapat pada beton yang mengalami tegangan konstan, terukur dari terjadinya tegangan elastis sampai regangan yang terjadi pada waktu tertentu. Dalam praktiknya, regangan akan bertambah besar apabila koefisien rangkak beton bertambah, namun pertambahan regangan akan berkurang seiring waktu.

Nilai rangkak dapat dipengaruhi banyak hal sangat bervariasi. Faktor yang mempengaruhi deformasi rangkak adalah:

1. Pilihan bahan dasar seperti jenis semen yang digunakan, persentase agregat kasar dan halus
2. Besarnya kadar air dan perbandingan *water/cement ratio*
3. Kelembaban relatif
4. Suhu beton saat pengeringan
5. Dimensi struktur, khusunya tebal dan perbandingan volum terhadap permukaan
6. umur pada waktu pembebanan
7. nilai *slump*

2. Susut

Susut adalah sifat beton yang memyebabkan mengecilnya volume beton akibat berkuranganya kadar air dan hilangnya kelembaban pada proses pengerasan. Pada dasarnya susut pada beton dibagi menjadi 2 yaitu : susut plastis dan susut pengeringan. Susut plastis adalah susut yang terjadi cepat atau sesaat setelah beton dicor. Sedangkan susut pengeringan adalah susut yang terjadi setelah beton mencapai titik keras dan proses hidrasi semen telah berakhir.

Nilai susut dinyatakan dengan εsh (regangan susut) yang dapat ditentukan oleh banyak faktor. Faktor tersebut antara lain:

1. Kadar agregat. Beton dengan kandungan agregat yang tinggi akan mengalami penyusutan volume yang semakin kecil. Dan jika semakin tinggi kadar agregatnya maka modulus elastisitas beton akan tinggi yang menyebabkan beton lebih tahan terhadap susut.
2. Faktor air semen. Semakin besar faktor *w/c* maka susut akan semakin besar.
3. Dimensi struktur. Nilai susut akan semakin kecil jika volume struktur semakin besar. Proses terjadinya susut akan semakin lama untuk struktur yang lebih besar karena membutuhkan banyak waktu agar pengeringan merata.
4. Kondisi lingkungan. Kelembaban relatif disekitar struktur beton juga mempengaruhi nilai susut, nilai susut akan semakin kecil jika dilingkungan dengan kelembaban relatif yang tinggi.

5. Penulangan. Beton bertulang akan mengalami susut lebih sedikit dibandingkan beton normal.
6. Jenis Semen. Susut karbonasi terjadi akibat reaksi CO_2 di udara dengan yang ada dipasta semen. Besarnya susut karbonasi bervariasi bergantung pada proses susut pengeringan atau susut karbonasi yang terjadi dahulu. Jika terjadi bersamaan maka nilai susut akan lebih kecil.

Metode ACI209.2R-08

Metode untuk menghitung rangkak dan susut pada ACI209.2R-08 adalah sebagai berikut:

a. Rangkak

$$V_t = \frac{t^{0.6}}{10+t^{0.6}} \times V_u \quad (1)$$

dengan V_t = Koefisien rangkak dalam waktu t (hari), t = Waktu setelah pengerasan awal, τ = Umur beton saat diberi beban, V_u = Koefisien rangkak batas (2,35 K_C), K_c = Koefisien koreksi untuk rangkak apabila kondisi diluar standar.

$$K_c = K_{AC} \times K_{RH} \times K_P \times K_S \times K_{AG} \times K_A \quad (2)$$

dengan :

K_{AC} = faktor koreksi yang dipengaruhi umur beton saat pembebanan

$$K_{AC} = 1{,}25 \times \tau^{-0.118}, \text{ untuk } \textit{moist cured concrete} \quad (3)$$

$$K_{AC} = 1{,}13 \times \tau^{-0.095}, \text{ untuk } \textit{steam cured concrete} \quad (4)$$

K_{RH} = Faktor koreksi yang dipengaruhi oleh kelembaban relatif dengan nilai H dalam persen

$$K_{RH} = 1{,}27 - 0{,}0067 \times H, \text{ untuk H > 40\%} \quad (5)$$

K_P = Faktor koreksi yang dipengaruhi rasio penampang (inchi)

$$K_P = 1{,}12 - 0{,}08 \times V/S \quad (6)$$

K_S = Faktor koreksi yang dipengaruhi nilai *slump* beton (mm)

$$K_S = 0{,}82 + 0{,}00264 \times S \quad (7)$$

K_{AG} = Faktor koreksi yang dipengaruhi perbandingan agregat halus dengan total agregat (%)

$$K_{AG} = 0{,}88 + 0{,}0024 \times \psi \quad (8)$$

K_A = Faktor koreksi yang dipengaruhi oleh kadar udara (%)

$$K_A = 0{,}46 + 0{,}09 \times A \quad (9)$$

b. Susut

$$\varepsilon_{sh} = \frac{t}{35+t} \times \varepsilon_{shu} \text{ ; untuk t setelah 7 hari (} \textit{moist cured concrete}\text{)} \quad (10)$$

$$\varepsilon_{sh} = \frac{t}{55+t} \times \varepsilon_{shu} \text{ ; untuk t setelah 1-3 hari (} \textit{steam cured concrete}\text{)} \quad (11)$$

dengan ε_{Sh} = Regangan susut batas; 780×10^{-6} . K_{sh} (in/in). Untuk kondisi diluar standart maka harus dikali dengan faktor koreksi.

$$K_{sh} = K_{RH} \times K_P \times K_S \times K_{PC} \times K_{AG} \times K_A \quad (12)$$

dengan :

K_{RH} = Faktor koreksi akibat kelembaban relatif (%)

$$K_H = 1{,}4 - 0{,}01 \times H, \text{ untuk kelembaban relatif antara 40\%-80\%} \quad (13)$$

$$K_H = 3 - 0.03 \times H, \text{ untuk lembaban relatif antara 80\% -100\%} \quad (14)$$

K_P = Faktor koreksi akibat rasio penampang (inchi)

$$K_P = 1{,}14 - 0{,}09 \times V/S \quad (15)$$

K_S = Faktor koreksi akibat nilai slump (mm)

$$K_S = 0{,}89 + 0{,}00161 \times S1 \quad (16)$$

K_{PC} = Faktor koreksi akibat kandungan semen (kg/m3)

$$K_{PC} = 0{,}75 + 0{,}00061 \times c \quad (17)$$

K_{AG} = Faktor koreksi akibat perbandingan agregat halus dengan total agregat

$$K_{AG} = 0{,}3 + 0{,}014 \times \psi, \text{ untuk } \psi < 50\% \quad (18)$$

$$K_{AG} = 0{,}9 + 0{,}002 \times \psi, \text{ untuk } \psi > 50\% \quad (19)$$

K_A = Faktor koreksi akibat kadar udara (%)

$$K_A = 0{,}95 + 0{,}008 \times A \quad (20)$$

Metode CEB-FIB MC90

Metode menghitung rangkak susut pada CEB-FIB MC90 adalah sebagai berikut:

a. Rangkak

$$\phi_{28(t,t0)} = \phi_0 \beta_{c(t,t0)} \quad (21)$$

dengan ϕ_0 = koefisien rangkak notional, $\beta_{c(t,t0)}$ = koefisien yang menunjukkan perkembangkan nilai rangkak dengan waktu setelah pembebanan, t = umur beton, t0 = umur beton saat pembebanan.

Koefisien rangkak notional bisa ditentukan dengan persamaan 22 sebagai berikut.

$$\phi_0 = \phi_{RH}(h)\beta_{(fcm28)}\beta_{(t0)} \quad (22)$$

dengan :

$$\phi_{RH}(h) = [1 + \frac{1-h/h_0}{\sqrt[3]{0.1[(V/S)/(V/S)_0]}}\alpha_1]\alpha_2 \quad (23)$$

$$\beta_{(fcm28)} = \frac{5{,}3}{\sqrt{f_{cm28}/f_{cm0}}} \quad (24)$$

$$\beta_{(t0)} = \frac{1}{0{,}1+(t_0/t_1)^{0{,}4}} \quad (25)$$

$$\alpha_1 = [\frac{3{,}5 f_{cm0}}{f_{cm28}}]^{0{,}7} \quad (26)$$

$$\alpha_1 = [\frac{3{,}5 f_{cm0}}{f_{cm28}}]^{0{,}2} \quad (27)$$

dengan f_{cm28} = kuat tekan rata-rata beton saat umur 28 (MPa), f_{cm0} = 10 MPa, h = kelembaban relatif pada lingkungan dalam desimal, h_0 = 1, V/S = perbandingan volum dengan luas permukaan (mm), $(V/S)_0$ =50 mm, t_1 = 1 hari, t_0 = umur beton saat diberi pembebanan, α1&α2 = koefisien yang dipengaruhi nilai kuat tekan rata rata beton.

Efek dari tipe sement dan temperatur *curing* pada koefisien rangkak dapat diperhitungkan dengan memodifikasi umur beton saat pembebanan (t_0) sebagai berikut.

$$t_0 = t_{0,T}[\frac{9}{2+(t_{0,T}/t_{t,T})^{1.2}} + 1]^{\alpha} \geq 0{,}5 \text{ hari} \quad (28)$$

dengan $t_{0,T}$ = umur beton saat diberi pembebanan yang disesuaikan dengan temperatur beton (untuk T=20ºC maka $t_{o,T}$ dapat disamakan dengan t_o), $T_{1,T}$ = 1 hari α = nilai yang ditentukan berdasarkan tipe semen; α = -1 untuk *slowly hardening cement*; α = 0 untuk *normal or rapidly hardening cement*; α = 1 untuk *rapid hardening cement.*

Koefisien $\beta_{c(t,t0)}$ menunjukkan perkembangan nilai rangkak terhadap waktu setelah beban diberikan yang nilainya dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$\beta_{c(t,t0)} = [\frac{(t-t_0)/t_t}{\beta H+(t-t_0)/t_t}]^{0.3} \quad (29)$$

Dengan :

$$\beta_H = 150[1 + (1{,}2 \times h/h_0)^{18}]\,(V/S)/(V/S)_0 + 250_{\alpha 3} \leq 1500_{\alpha 3} \quad (30)$$

$$\alpha_3 = [\frac{3{,}5 f_{cm0}}{f_{cm28}}]^{0.5} \quad (31)$$

dengan t_1 = 1 hari, h_0 = 1, $(V/S)_0$ = 50 mm, α3 = koefisien yang dipengaruhi nilai kuat tekan rata-rata beton.

b. Susut

$$\varepsilon_{SH(t,tc)} = \varepsilon_{CS0}\beta_s(t - tc) \quad (32)$$

dengan ε_{CS0} = koefisien susut notional, $\beta_s(t - tc)$= koefisien yang menyatakan perkembangan nilai susut dengan waktu pengeringan beton, t = umur beton dalam hari, t_c = umur beton saat dimulainya pengeringan, $(t - t_c)$ = durasi pengeringan dalam hari.

Nilai koefisien susut notional dapat dihitunga dengan persamaan berikut

$$\varepsilon_{CSO} = \varepsilon_S(f_{cm28})\beta_{RH}(h) \quad (33)$$

dengan :

$$\varepsilon_S(f_{cm28}) = [160 + 10\beta_{SC}(9 - f_{cm28}/f_{cm0})] \times 10^{-6} \quad (34)$$

$$\beta_{RH}(h) = -1{,}55[1 - \left(\frac{h}{h_0}\right)^3]; \text{ untuk } 0{,}4 \leq h < 0{,}99 \quad (35)$$

$$\beta_{RH}(h) = 0{,}25; \text{ untuk h } \geq 0{,}99 \quad (36)$$

dengan f_{cm28} = kuat tekan rata rata beton pada umur 28 hari (MPa), f_{cm0} = 10 MPa, β_{SC} = koefisien yang dipengaruhi oleh tipe semen, h = kelembaban relatif dalam desimal, h_o = 1.

Perkembangan nilai susut dengan waktu dapat diperoleh dengan persamaan berikut

$$\beta_s(t - t_c) = [\frac{(t-t_v)/t_1}{350[(V/S)/(V/S)_0]^2 + (t-t_c)/t_1}]^{0.5} \quad (37)$$

dengan $(t - tc)$ = durasi pengeringan, t_t = 1 hari, V/S = rasio perbandingan volume dan luas permukaan, dan $(V/S)_0$ = 50 mm.

Metode ini mengasumsikan, periode *curing* beton tidak melebihi 14 hari pada temperatur normal, durasi dengan *moist curing* tidak berefek signifikan pada proses susut. Karenanya, parameter ini serta efek dari temperatur *curing* tidak diperhitungkan.

Metode EN-1992-1-1-2004

a. Rangkak

$$\phi(t, t_o) = \phi_0 . \beta_{c(t,t_o)} \quad (38)$$

dengan ϕ_0 adalah koefisien rangkak notional dan persamaan untuk menentukannya adalah sebagai berikut.

$$\phi_0 = \phi_{RH} . \beta_{(f_{cm})} . \beta_{(t_0)} \quad (39)$$

dengan :

ϕ_{RH} = faktor kelembaban relatif pada koefisien rangkak dan persamaan untuk menentukannya dibagi menjadi 2 yaitu :

$$\phi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH/100}{0{,}1.\sqrt[3]{h_0}}; \text{ untuk } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \quad (40)$$

$$\phi_{RH} = \left[1 + \frac{1 - RH/100}{0{,}1.\sqrt[3]{h_0}} . \alpha_1\right] . \alpha_2; \text{ untuk } f_{cm} \geq 35 \text{ MPa} \quad (41)$$

$$\beta(f_{cm}) = \frac{16{,}8}{\sqrt{f_{cm}}} \quad (42)$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{(0{,}1 + t_0^{0{,}20})} \quad (43)$$

$$h_0 = \frac{2 * A_c}{u} \quad (44)$$

dengan f_{cm} = kuat tekan beton, RH = kelembaban relatif dalam persen, $\beta(f_{cm})$ = faktor dari efek kekuatan beton terhadap rangkak, $\beta(t_0)$ = faktor dari efek umur beton, h_0 = ukuran dari beton, Ac = luas penampang beton, u = keliling beton yang terkontak langsung dengan atmosfer.

$$\beta c(t, t0) = \left[\frac{(t - t_0)}{(\beta_H + t - t_0)}\right]^{0{,}3} \quad (45)$$

$$\beta_H = 1{,}5[1 + (0{,}012\, RH)^{18}]h_0 + 250 \leq 1500; \text{ untuk } f_{cm} \leq 35 \text{ MPa} \quad (46)$$

$$\beta_H = 1{,}5[1 + (0{,}012\, RH)^{18}]h_0 + 250 \propto_3 \leq 1500 \propto_3; \text{ untuk } f_{cm} \geq 35 \text{ MPa} \quad (47)$$

$$\propto_1 = \left[\frac{35}{f_{cm}}\right]^{0{,}7} \quad (48)$$

$$\propto_2 = \left[\frac{35}{f_{cm}}\right]^{0{,}2} \quad (49)$$

$$\propto_3 = \left[\frac{35}{f_{cm}}\right]^{0,5} \quad (50)$$

dengan $\beta c(t, t0)$ = koefisien yang menunjukan perkembangan rangkak dengan waktu setelah diberi pembebanan, t = umur beton, t_0 = umur beton saat terjadi pembebanan, β_H = koefisien yang dipengaruhi kelembaban relatif dan ukuran beton, α = koefisien yang menunjukan kekuatan beton.

b. Susut

$$\varepsilon_{cd,0} = 0{,}85\left[(220 + 110 * \alpha_{ds1}).\, exp\left(-\alpha_{ds2}.\frac{f_{cm}}{f_{cm0}}\right)\right].10^{-6}.\beta_{RH} \quad (51)$$

$$\beta_{RH} = -1{,}55\left[1 - \left(\frac{RH}{RH_0}\right)^3\right] \quad (52)$$

dengan f_{cm} = kuat tekan beton, f_{cm0} = 10 MPa, α_{ds1} = koefisien yang bergantung dengan jenis semen; untuk kelas S digunakan 3; untuk kelas N digunakan 4; untuk kelas R digunakan 6, α_{ds2} = koefisien yang bergantung dengan jenis semen; untuk kelas S digunakna 0.13; untuk kelas N digunakan 0.12; untuk kelas R digunakan 0.11, RH = kelembaban relatif, RH_0 = 100%.

2. METODE PENELITIAN

Data fisik jembatan

1. Jenis jembatan : Struktur Beton Prategang (*Single Span*)
2. Panjang bentang : 60 m
3. Lebar jembatan : 9 m
4. Lebar lantai kendaraan : 2 x 3,5 m
5. Lebar bahu jalan : 1 m
6. Jenis gelagar : *Double Cellular Box girder*

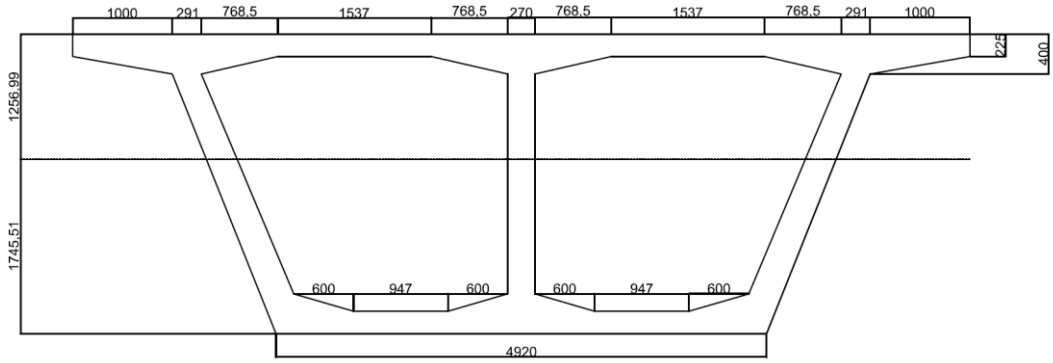
Gelagar

1. Sistem prategang : Beton prategang dengan sistem posttensioning
2. Mutu beton : 50 MPa
3. Berat jenis : 25 kN/m^3

Strand

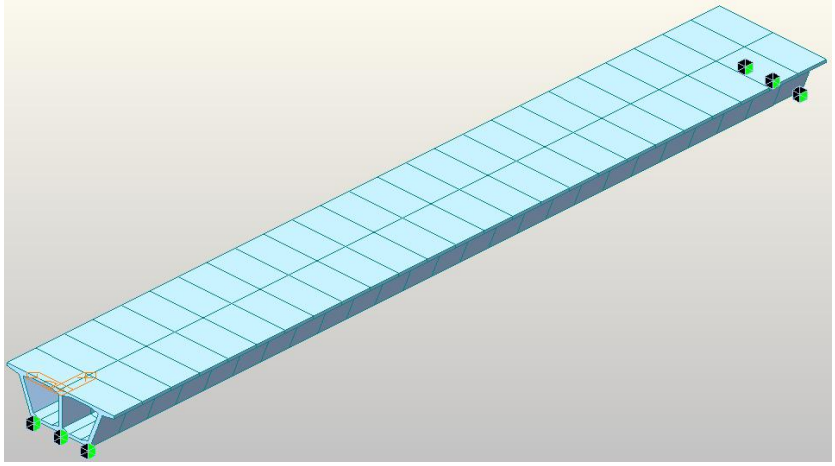
1. Jenis *strand* : *Seven Wire Strand* ASTM A 416-06
2. Diameter nominal (d) : 15,24 mm
3. Luas nominal (Ap) : 140 mm^2
4. Tegangan leleh (f_{py}) : 1675 MPa
5. Tegangan putus (f_{pu}) : 1860 MPa
6. Beban putus *strand* (F_{pk}) : 260,7 kN
7. Modulus elastisitas (Es) : 200000 MPa

Hasil Pradimensi *box girder* menggunakan spesifikasi jembatan diatas dapat dilihat pada Gambar 1. Dan untuk pemodelan jembatan dalam MIDAS dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Dimensi penampang *box girder*

EISSN 2622-545X



Gambar 2. Pemodelan jembatan *single span* di MIDAS

Data *input time dependent*

1) ACI209.2R-08

Dalam menghitung *Creep* dan *Shrinkage* di MIDAS 2020 menggunakan metode ACI209.2R-08, variabel yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- Kuat tekan beton (fc') : 50 MPa
- Kelembaban relatif (RH) : 70%
- *Volume-surface ratio* (V/S) : 80 mm
- Umur beton saat awal *shrinkage* : 7 hari
- Jenis *curing* : *moist cure*
- *Slump* : 100 mm
- Persentase agregate halus : 40%
- Kadar udara : 6%
- Berat jenis semen : $3{,}8 \times 10^{-6}$ N/mm^3

2) CEB-FIB MC90

Dalam menghitung *creep* dan *shrinkage* di MIDAS 2020 menggunakan metode CEB-FIB MC90, variabel yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

- Kuat tekan beton (fc') : 50 MPa
- Kelembaban relatif (RH) : 70%
- *Notional size of member* : 0,225 m
- Tipe semen : *Normal or rapid hardening*
- Umur beton saat awal *shrinkage* : 7 hari

3) EN-1992-1-1

Dalam menghitung *creep* dan *Shrinkage* di MIDAS 2020 menggunakan metode EN-1992-1-1, variable yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

- Kuat tekan beton (fc') : 50 MPa
- Kelembaban relatif (RH) : 70 %
- *Notional size of member* : 0,225 m
- Jenis semen : N
- Umur beton saat awal *Shrinkage* : 7 hari

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembebanan

1. Beban sendiri

Beban *box girder* = A x Bj = 6,04665 m^2 x 25 kN/m^3 = 151,1662 kN/m

2. Beban mati tambahan

Perhitungan beban mati tambahan meliputi beban aspal, beban genangan air hujan, beban lampu jalan, dan beban *railing*.

- Beban aspal = b x h x BJ = 9 m x 0,05 m x 22 kN/m^3
  = 9,9 kN/m
- Beban genangan air hujan = b x h x BJ = 9 m x 0,05 m x 9.8 kN/m^3
  = 4,41 kN/m
- Beban lampu jalan = 0,1 kN/m
- Beban *railing* = 1 kN/m

Total beban mati tambahan = 15,41 kN/m

3. Beban hidup

Perhitungan beban hidup lalu lintas meliputi beban terbagi rata (BTR) dan beban garis terpusat (BGT).

Contoh perhitungan beban hidup akibat beban lajur D pada bentang 60 m.

Faktor Beban Dinamis = 0,525 – 0,0025 L = 0,525 – 0,0025 x 60 = 0,375

Intensitas BTR = q = 6,75 kPa x 7 m = 47,25 kN/m

BGT = p = 49 kN/m x 7 m x 1,375 = 471,625 kN

Hasil perhitungan momen

Dari hasil analisis pada MIDAS, berikut adalah reaksi perletakan dan momen maksimum yang dihasilkan.

1. Reaksi Perletakan
   - *Dead Load* : 4535,1 kN
   - *Superimposed Dead Load* : 462,3 kN
   - *Live Load* : 1665,3 kN

2. Momen Maksimum
   - *Dead Load* : 68024,8 kNm
   - *Superimposed Dead Load* : 6934,5 kNm
   - *Live Load* : 28336,9 kNm

Kuat tekan beton

- Kuat tekan beton prategang (f'c) = 50 MPa
- Kuat tekan beton saat transfer (f'ci) = 37,5 MPa

Tegangan ijin beton

a. Pada saat keadaan awal sebelum mengalami kehilangan gaya prategang (kondisi *transfer*)

- Tegangan ijin tekan = -0.6 x f'ci = -22,5 MPa
- Tegangan ijin tarik = $0.25\sqrt{f'ci}$ = 1,5309 MPa

Menghitung kebutuhan *strand*

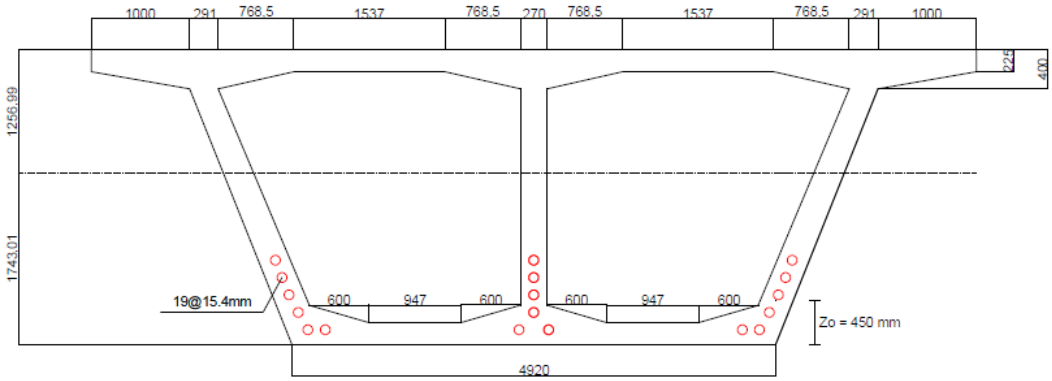
 EISSN 2622-545X

Dari perhitungan didapatkan gaya F_e sebesar 50601,0663 kN dengan asumsi telah kehilangan gaya prategang sehingga F_e = 60%UTS

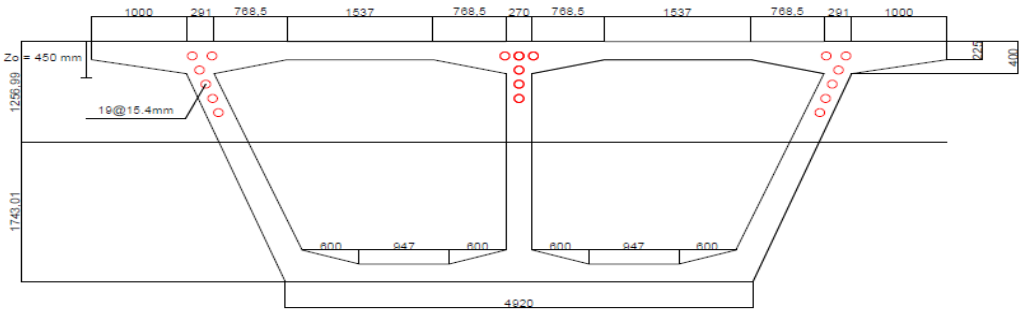
$$n = \frac{50601.06063 \text{ x } 10^3}{0.6 \text{ x } 1860 \text{ x } 140} = 323{,}86\ strand = 325\ strand$$

Digunakan 18 tendon dengan 1 tendon berisi 19 *strand*, maka jumlah *strand* yang akan digunakan sebanyak 342 *strands*. Untuk desain tendon pada daerah tumpuan dan lapangan dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

Letak koordinat tendon



Gambar 3. Desain tendon pada tengah bentang



Gambar 4. Desain tendon pada tepi bentang

Kapasitas momen

Dari perhitungan kapasitas momen, didapatkan besar momen nominal (M_n) adalah sebesar 191810,338 kNm. Maka besar ϕM_n adalah 153448.3104 kNm

$$Mu = \gamma DL \text{ x } MDL + \gamma SDL \text{ x } MSDL + \gamma LL \text{ x } MLL \tag{53}$$

Besar momen *ultimate* yang didapatkan dari rumus diatas adalah 146505,18 kNm

Sehingga, $Mu \leq \phi M_n$ (OK)

Besar koefisien rangkak dan susut

Hasil rekapitulasi nilai rangkak dan susut pada hari ke-10000 dengan metode ACI209.2R-08, CEB-FIP MC90 dan EN-1992-1-1 dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi nilai rangkak dan susut pada hari-10000

Metode	Nilai Susut	Nilai Rangkak
ACI209.2R-08	$-4{,}0144 \times 10^{-4}$	1,5989
CEB-FIB MC90	$-3{,}9043 \times 10^{-4}$	1,779
EN 1991-1-1	$-2{,}8233 \times 10^{-4}$	1,6933

Hasil tegangan dan lendutan pada jembatan

Dalam penelitian ini, hasil tegangan akan diperhitungan saat *post construction stage*. Sedangkan hasil lendutan akan diperhitungkan pada kondisi *construction stage* 1 (hari ke 7) , *Construction stage* 2 (hari ke 30) dan *Construction Stage* 3 (hari ke 10000). Semua hasil tegangan dan lendutan akan dibandingkan dalam 3 metode berbeda yang dapat dilihat pada Tabel 2 dan Tabel 3. Lalu untuk grafik lendutan dapat dilihat pada Gambar 5. Untuk perjanjian tanda + dan – digunakan sebagai berikut:

- Tegangan (+) : Tegangan tarik
- Tegangan (-) : Tegangan tekan
- Lendutan (+) : Defleksi keatas
- Lendutan (-) : Defleksi kebawah

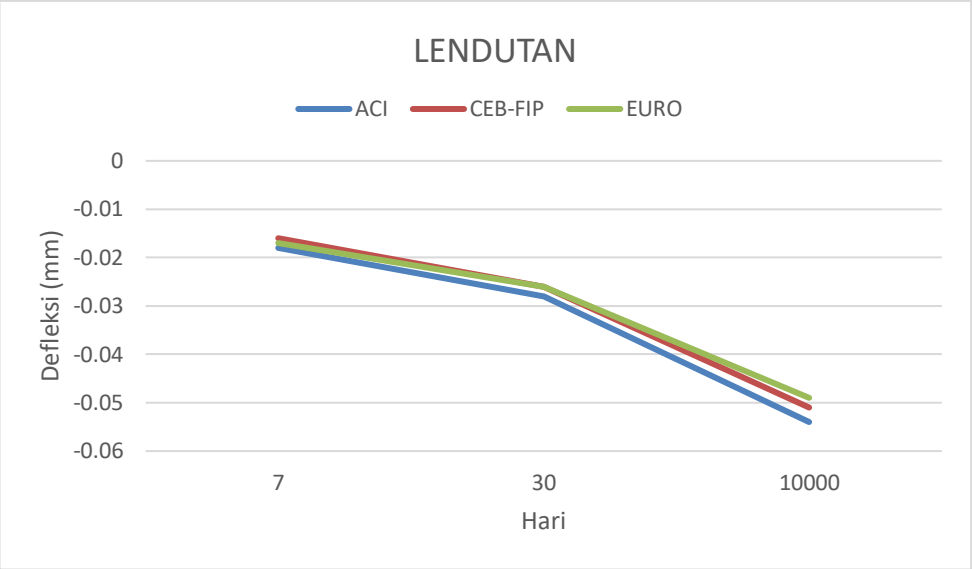
Tabel 2. Hasil tegangan dengan menggunakan metode ACI209.2R-08, CEB-FIB MC90 dan EN-1992-1-1

Jenis Beban	Tegangan (MPa) Metode ACI209.2R-08		Tegangan (MPa) Metode CEB-FIB MC90		Tegangan (MPa) Metode EN-1992-1-1	
	Bawah	Atas	Bawah	Atas	Bawah	Atas
Berat Sendiri	14,18320	-13,259	14,1579	-10,748	14,0748	-10,739
Beban Mati Tambahan	1,44590	-1,3386	1,4433	-1,0959	1,4348	-1,0948
Gaya Prategang	-23,9778	2,12520	-24,0018	2,1204	-23,8459	2,1048
Beban Hidup	5,9085	-4,4780	5,8977	-4,479	5,8631	-4,47360
Total	-2,44020	-14,1821	-2,5029	-14,2008	-2,4732	-14,2025

Tabel 3. Hasil lendutan dengan menggunakan metode ACI209.2R-08, CEB-FIB MC90 dan EN-1992-1-1

Waktu (hari)	Metode Analisis		
	ACI209.2R-08	CEB-FIB MC90	EN-1992-1-1
7	-0,018 m	-0,016 m	-0,017 m
30	-0,028 m	-0,026 m	-0,026 m
10000	-0,054 m	-0,051 m	-0,049 m

EISSN 2622-545X



Gambar 5. Grafik perbandingan lendutan yang terjadi dari 3 metode

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan dengan menggunakan ketiga metode yaitu ACI209.2R-08, CEB-FIB MC90 dan EN-1992-1-1-2004. Kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan nilai rangkak dengan menggunakan 3 metode menghasilkan nilai berturut-turut sebagai berikut 1,5989, 1,779 dan 1,6933. Dalam 10000 hari, nilai rangkak yang dihasilkan oleh ketiga metode sudah mencapai *ultimate* dan perubahan nilai setelahnya mendekati konstan.
2. Perhitungan nilai susut dengan menggunakan 3 metode menghasilkan nilai berturut-turut -4,0144x10-4, -3,9043x10-4 dan -2,8233x10-4. Dalam 10000 hari, nilai susut yang dihasilkan ketiga metode sudah mencapai nilai *ultimate* dan perubahan nilai setelahnya mendekati konstan
3. Tegangan yang diperoleh dari ketiga metode tersebut memiliki hasil yang identik satu sama lain. Tegangan serat atas dan serat bawah yang diperoleh juga masuk dalam persyaratan tegangan ijin.
4. Lendutan yang terjadi pada 10000 hari masih terdapat dalam batas ijin yaitu -0.054 mm
5. Dalam hasil analisis ini, penulis juga mengambil kesimpulan bahwa penggunaan ketiga metode tersebut akan menghasilkan hasil yang serupa jika komponen variabel yang dipakai juga sama, seperti : *relative humidity*, *notional size*, *volume surface ratio*, jenis semen, kandungan agregat dan dimensi jembatan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian maka saran untuk analisis adalah sebagai berikut:

1. Untuk analisis berikutnya mungkin bisa diberikan kombinasi beban yang lain seperti memperhitungkan beban gempa, beban angin, dan temperatur.
2. Untuk penelitian berikutnya mungkin bisa menggunakan jembatan beton komposit sebagai pembanding.
3. Untuk Penelitian berikutnya dapat dicoba dengan membandingkan kelembaban relatif di setiap daerah karena kelembaban relatif sangat berpengaruh pada koefisien rangkak dan susut.

DAFTAR PUSTAKA

American Concrete Institute. ACI209.2R-08 Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures. America, 2008.
Badan Standardisasi Nasional. RSNI-T-02-2005 Standar Pembebanan untuk Jembatan. Indonesia: RSNI, 2005.
Badan Standardisasi Nasional. "RSNI-T-12 Perencanaan Struktur Beton Untuk Jembatan." SNI (2004).
European Standard. EN-1992-1-1 Design of Concrete Structures. 2004.
International Federation for Structural Concrete. CEB-FIB MC90. 1990.
MIDAS. http://manual.midasuser.com/EN_Common/Civil/890/index.htm. 1989. Document. 2020.
Supriyadi, Bambang dan Agus Setyo Muthohar. Jembatan. Yogyakarta: UGM, 2007.