

PENGARUH VARIASI SELIMUT BETON TERHADAP KAPASITAS BALOK PERSEGI DALAM MENAHAN KECEPATAN KOROSI

Herry Henry Roberth

herryroberth1965@gmail.com

Teknik Sipil Politeknik Negeri Ambon

ABSTRAK

Selimut beton atau *concrete ducking* atau disebut juga pelindung tulangan cukup penting dan sangat menentukan keamanan dari tulangan pada struktur beton bertulang terutama pada struktur yang berada di lingkungan yang bebas dan agresif. Di Maluku umumnya pembangunan infrastruktur terutama jembatan lebih banyak dibangun dalam jarak < 1 km dari garis pantai. Ini menyebabkan struktur dari jembatan tersebut sangat terpengaruh terhadap agresifitas dari ion klorida penyebab korosi. Hal ini menyebabkan keamanan dan umur struktur akan semakin pendek mungkin saja kurang dari umur rencana.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh selimut beton dalam mencegah laju korosi dan juga kapasitas lentur dan geser dari struktur yang di desain sebagai suatu model dengan menggunakan pembebanan dari AASTHO (American Associates of System Transportation and Highway Organization) yaitu AASTHO-LRFD-1998.

Kesimpulan dari hasil penelitian, bahwa semakin tebal selimut beton maka semakin baik dalam menahan laju korosi namun semakin kecil kapasitas lentur dan geser yang dihasilkan. Diperoleh juga bahwa faktor air-semen, *w/c* juga turut mempengaruhi kapasitas lentur dan geser balok. Semakin Kecil Nilai *w/c* maka semakin tinggi kapasitas lentur dan geser balok.

Penelitian ini masih belum begitu intensif disebabkan belum mengetahui keandalan struktur dalam arti umur layan struktur akibat pengaruh korosi sehingga perlu adanya penelitian yang berkelanjutan.

Kata Kunci : Selimut Beton, Kapasitas Balok, Beton Bertulang, Jembatan, Korosi.

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Tiap struktur beton dapat terkena pengaruh korosi terutama untuk struktur yang tidak terlindung atau dekat dengan laut seperti Indonesia yang memiliki garis pantai sekitar 74.000 km. Pengaruh air laut terhadap komponen struktur bangunan beton bertulang menyebabkan terjadi karatan atau korosi pada tulangnya. Berkurangnya kinerja struktur disebabkan korosi tulangan, mengakibatkan diameter tulangan berkurang dan luas tulangan tersisa < luas tulangan mula-mula. Berdasarkan perkiraan para ahli, kerusakan akibat korosi di Indonesia mencapai 1.5% dari GNP dan industri minyak kerusakan mencapai 15% dari nilai instalasinya (Darmawan M.S., 2006).

Stewart M.G., (2004), menyatakan korosi pada struktur beton bertulang dapat berakibat

pada segi pelayanan (*serviceability*) dan jika tidak dilakukan perawatan atau pencegahan dengan perbaikan pada struktur maka menyebabkan keruntuhan. Hal ini dapat dihindari dengan dibuat kerangkakerja (*framework*) yang memperkirakan kinerja struktur sebelum dan sesudah terkena pengaruh korosi sehingga dapat dilakukan tindakan pencegahan. Kerangkakerja dimaksud adalah gabungan antara model struktur, model pembebanan dan model korosi yang dianalisis terhadap kuat lentur dan geser.

Dalam penelitian "Pengaruh Variasi Selimut Beton Terhadap Kapasitas Balok Persegi Dalam Menahan Kecepatan Korosi" ini dibuat model korosi beton bertulang pada struktur balok jembatan.



1.2. Perumusan Masalah

Rumusan masalah yang ditelaah dalam penelitian ini meliputi :

- Bagaimana mengetahui efek korosi terhadap kekuatan balok;
- Bagaimana mengetahui kinerja struktur yang terkena pengaruh korosi.

1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

- Mengetahui efek korosi terhadap kekuatan balok;
- Mengetahui kinerja struktur terkena pengaruh korosi.

1.4. Batasan Permasalahan

Batasan permasalahan dalam penelitian ini, dibatasi pada :

- Pendekatan metematik bersifat deterministik;
- Pengaruh korosi hanya akibat klorida;
- Material beton merupakan beton normal tanpa bahan additif dimana elemen balok dan pelat mutu sama;
- Jenis korosi terjadi diasumsikan merupakan korosi seragam (uniform corrosion) dimana i_{corr} ditetapkan;
- Retak tidak ditinjau;
- Keandalan struktur dievaluasi terhadap kapasitas lentur dan geser serta lendutan;
- Pembebanan berdasarkan AASTHO-LRFD-1998 tentang Standar Pembebanan Untuk Jembatan serta Desain Struktur Beton menggunakan SNI T-12-2004;
- Balok gelagar jembatan yang ditinjau dan dievaluasi yaitu balok beton bertulang yang terkena pengaruh korosi (bukan suatu sistem).

1.5. Manfaat Penelitian

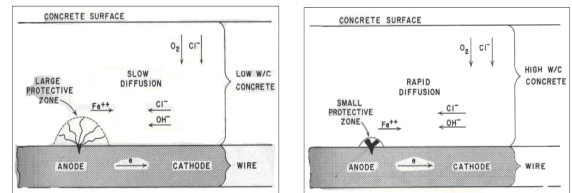
Merupakan suatu studi untuk dapat menentukan kinerja struktur beton bertulang pada elemen struktur balok jembatan dalam selang waktu 50 tahun.

KAJIAN TEORI DAN METODE

2.1. Korosi Pada Struktur Bangunan

• Pengertian Korosi

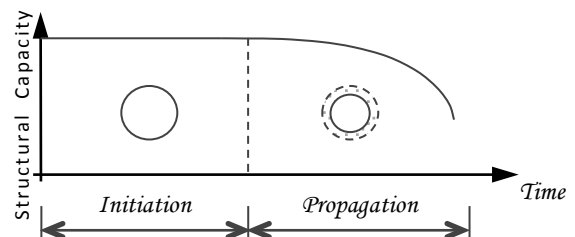
Korosi merupakan proses alami yang terus berlangsung seiring waktu terutama didaerah pengaruh korosi tinggi (lingkungan agresif). Menurut Cantrell A., (2002), karbonat (O_2) dan ion klorida (Cl^-) turut mempengaruhi proses korosi (Gambar 1).



Gambar 1. Skema korosi beton (a) w/c rendah dan (b) w/c tinggi (Cantrell A., 2002)

Menurut Stewart M.G. dan Rosowsky D.V., (1998), proses korosi tulangan terdiri dari dua tahapan, yaitu:

a. **Initiation (inisiasi)** yaitu masuknya ion klorida (Cl^-) kedalam beton hingga mencapai tulangan dan terakumulasi pada konsentrasi tertentu sampai terjadi korosi. Korosi inisiasi, tulangan masih tetap utuh dan kekuatan struktur stabil (lihat Gambar 3).



Gambar 2. Kinerja struktur akibat pengaruh korosi (Darmawan M.S., 2006)

b. **Propagation (propagasi)** yaitu korosi tulangan yang mengurangi luas tulangan (metal loss) sehingga terjadi penurunan kekuatan struktur (Gambar 2).

Proses korosi alami terjadi dalam jangka waktu cukup lama (> 5 tahun). Hasil Penelitian Andrade C. dan Alonso C. (1994) serta Millard (1993) bahwa kecepatan korosi alami, i_{corr} dapat mencapai 100 mA/cm^2 atau $1,160 \text{ mm/year}$.

• Model Korosi

❖ Korosi Inisiasi

Korosi inisiasi : proses masuknya ion klorida (Cl^-) kedalam beton hingga mendekati tulangan dan terakumulasi hingga mencapai konsentrasi tertentu dan terjadinya korosi. Saat terjadi korosi inisiasi, tidak ada pengurangan kekuatan struktur. Stewart M.G. & Rosowsky D.V., (1998), proses korosi inisiasi dimodelkan berdasarkan Hukum Fick Kedua (Fick's Second Law).

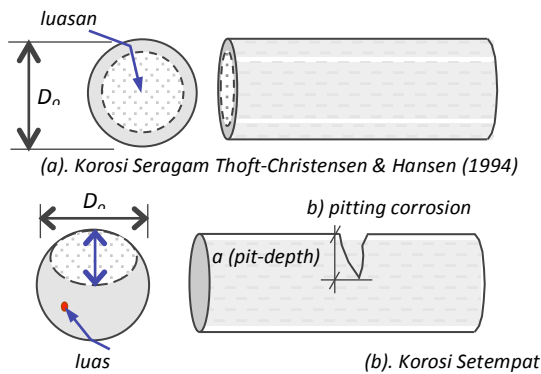
❖ Korosi Propagasi

Korosi propagasi : proses masuknya ion klorida (Cl^-) menembus lapisan pasif tulangan sehingga menyebabkan penurunan kekuatan

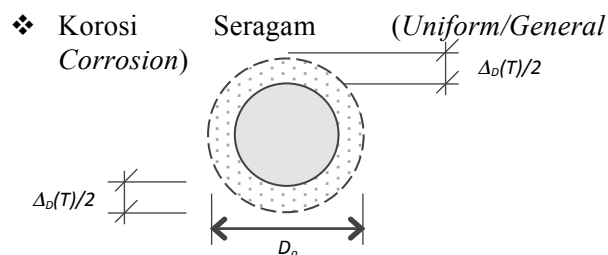
struktur. Korosi propagasi dibagi dua model: korosi setempat (pitting corrosion) dan korosi seragam (uniform corrosion).

Model korosi Val D.V. & Melchers R.E., (1997):

$$D_D(T)/2 = 0.0232 i_{corr} T \quad (1)$$



Gambar 3. Model korosi tulangan (Darmawan M.S.)



Gambar 4. Uniform Corrosion Model (Stewart M.G.)

Luas Tulangan dalam waktu T (*general corrosion*),

$$A_{st}(T) = \left(\frac{1}{4}\right)n\pi(D_0 - 2P_{av})^2 \quad (2)$$

Substitusikan Persamaan 1 dan 2, diperoleh:

$$A_{st}(T) = \left(\frac{1}{4}\right)n\pi(D_0 - 0.0232i_{corr}T)^2 \quad (3)$$

❖ Kecepatan Korosi (i_{corr})

$$i_{corr}(1) = \frac{37.8\left(1 - \frac{w}{c}\right)^{-1.64}}{p} \quad (4)$$

dimana,

$i_{corr}(1)$: kecepatan korosi propagasi (mA/cm^2);

w/c : faktor air-semen;

p : tebal selimut beton (mm)

Sedangkan pada penampang balok beton bertulang, luasan tulangan total A_{st} yang tersisa di selang waktu tertentu T untuk korosi menyeluruh (*general corrosion*),

$$\Delta_D(T)/2 = 0.0232 i_{corr} T \quad (5)$$

dimana,

$\Delta_D(T)/2$: kedalaman korosi propagasi seragam ($mm/tahun$);

i_{corr} : kecepatan korosi alami ($1mA/cm^2=11.6mm/tahun$);

T : waktu mulai korosi propagasi (*tahun*)

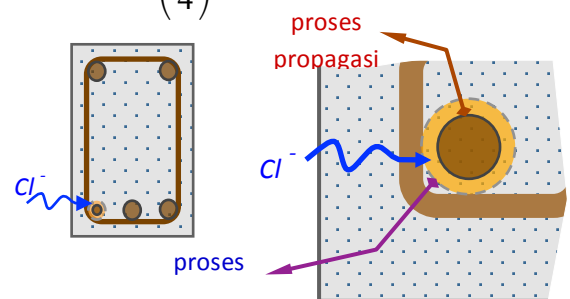
$$A_{st}(T) = \left(\frac{1}{4}\right)n\pi(D_0 - 2P_{av})^2 \quad (6)$$

Substitusikan Pers. 4 ke Pers. 6, diperoleh:

$$A_{st}(T) = \left(\frac{1}{4}\right)n\pi(D_0 - \Delta_D(T)/2)^2 \quad (7)$$

Dari Persamaan 5 ke Pers. 7, diperoleh:

$$A_{st}(T) = \left(\frac{1}{4}\right)n\pi(D_0 - 0.0232i_{corr}T)^2 \quad (8)$$



Gambar 5. Penampang tulangan terkena pengaruh

• Variabel Pengaruh Korosi

Variabel yang mempengaruhi terjadinya proses korosi dijelaskan berikut,

a. Kecepatan Korosi ($i_{corr}(1)=i_{corr}$) → Pers. 4

b. Faktor Air-Semen, w/c (Bolomey's formula),

$$\frac{w}{c} = \frac{27}{f'_{cyl} + 13.5} \quad (9)$$

c. Mutu Beton (f'_c),

Mutu beton, f'_c lebih tinggi akan memperlambat proses korosi.

d. Selimut Beton (p),

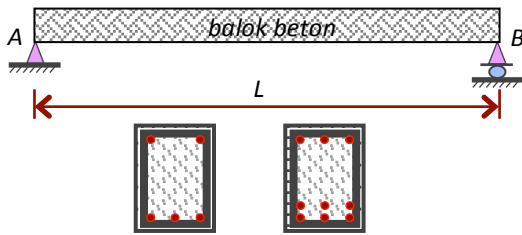
Selimut beton, p juga berpengaruh terhadap proses korosi. Semakin tebal selimut beton (sesuai peraturan dan spesifikasi), akan baik dalam proses perlambatan korosi itu sendiri tetapi sebaliknya.

2.2. Model Struktur dan Model Pembebanan

• Model Struktur

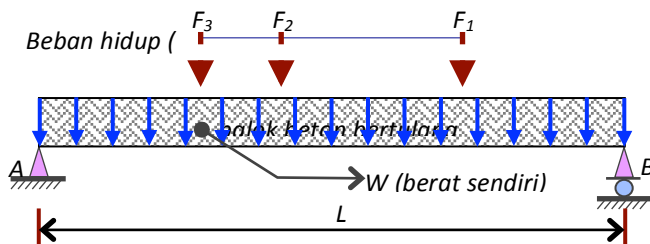
Model struktur dalam penelitian ini berupa struktur balok beton bertulang dengan tumpuan

sederhana jembatan diaplikasikan (Gbr. 7a dan 7b).



Gambar 6. Prototype balok dan penampang beton bertulang

- Model Pembebanan
Beban-bekerja pada struktur balok berupa beban mati (berat sendiri struktur) dan beban hidup.

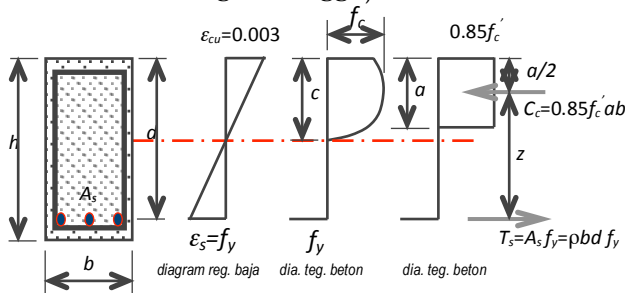


Gambar 7. Ilustrasi beban mati + beban hidup

2.3. Analisis Penampang Lentur dan Geser Akibat Pengaruh Korosi

❖ Analisis Lentur

- **Balok Tulangan Tunggal**



Gambar 8. Diagram Tegangan-Regangan

Gaya yang bekerja *tanpa* Korosi,

$$T_s = A_s f_y \quad (10)$$

Momen Nominal *tanpa* Korosi,

$$M_n = T_s z = A_s f_y (d - a/2) \quad (11)$$

Gaya yang bekerja *dengan* Korosi,

$$T_s(T) = A_s(T) f_y \quad (12)$$

Luasan Tulangan Terkorosi,

$$A_{st}(T) = \left(\frac{1}{4}\right) n \pi (D_0 - 0.0232 i_{corr} T)^2 \quad (13)$$

Pers. 12 substitusi ke Pers. 13 sehingga gaya yang bekerja *dengan* Korosi menjadi,

$$T_s(T) = \left(\frac{1}{4}\right) n \pi (D_0 - 0.0232 i_{corr} T)^2 f_y \quad (14)$$

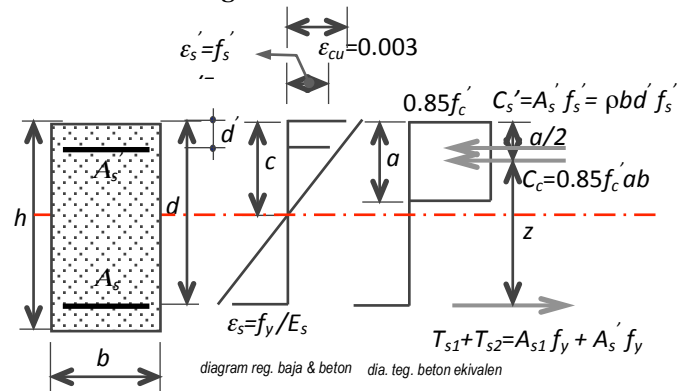
Momen Nominal *dengan* Korosi,

$$M_n(T) = T_s(T) z = A_s(T) \cdot f_y (d - a/2) \quad (15)$$

Substitusi Pers. 8 ke Pers. 15 untuk Momen Nominal *dengan* Korosi,

$$M_n(T) = A_s(T) \cdot f_y z = \left(\frac{1}{4}\right) n \pi (D_0 - 0.0232 i_{corr} T)^2 \cdot f_y \cdot (d - a/2) \quad (19)$$

- **Balok Tulangan Ganda**



Gambar 9. Diagram Tegangan-Regangan

$$A_s = A_{s1} + A_{s2} \text{ g tulangan tarik ;}$$

$$A_s' = A_{s2} \text{ g tulangan tekan}$$

$$A_{s1} = A_s - A_s' ; \quad z = d - (a/2)$$

Gaya yang bekerja *tanpa* Korosi,

$$T_s = T_{s1} + T_{s2} = A_{s1} f_y + A_s' f_s' \quad (17)$$

Momen Nominal *tanpa* Korosi,

$$M_n = M_{n1} + M_{n2} = T_{s1} z + T_{s2} (d - d') \\ = A_{s1} f_y (d - a/2) + A_s' f_s' (d - d') \quad (18)$$

Gaya yang bekerja *dengan* Korosi,

$$T_s(T) = T_{s1}(T) + T_{s2}(T) \\ = A_{s1}(T) f_y + A_s'(T) \cdot f_s' \quad (19)$$

Dari Pers. 13, diperoleh,

$$A_{st}(T) = \left(\frac{1}{4}\right) n \pi (D_0 - 0.0232 i_{corr} T)^2$$

Pers. 8 substitusi ke Pers. 19 sehingga Gaya yang bekerja *dengan* Korosi menjadi,

$$T_s(T) = A_{s1}(T) f_y + A_s'(T) f_s'$$

Sehingga,

$$T_s(T) = \left(\frac{1}{4}\right) n \pi (D_0 - 0.0232 i_{corr} T)^2 \cdot f_y \\ + \left(\frac{1}{4}\right) n \pi (D_0 - 0.0232 i_{corr} T)^2 \cdot f_s' \quad (20)$$

Momen Nominal dengan Korosi,

$$M_n(T) = A_{s1}(T) \cdot f_y \cdot z + A_s'(T) \cdot f_s' \cdot (d - d')$$

$$= \left(\frac{1}{4}\right) n\pi (D_0 - 0.0232i_{corr} T)^2 \cdot f_y \cdot$$

$$+ \left(\frac{1}{4}\right) n\pi (D_0 - 0.0232i_{corr} T)^2 \cdot f_s' \cdot (d - d') \quad (21)$$

Bilamana $c < h_f$ (c pada Pers. 22), maka :

$$C = C_c = 0.85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \quad (22)$$

$$C_s' = A_s' \cdot f_y \quad (23)$$

$$T = T_s + T_s' \quad (24)$$

$$T_s = A_s \cdot f_y \quad (25)$$

$$T_s' = A_s' \cdot f_s' \quad (26)$$

$$f_s' = \epsilon_{cu} \cdot E_s \cdot \left(\frac{\beta_1 \cdot d'}{a} - 1\right) \quad (27)$$

Kapasitas Momen Terkorosi Sebelum Leleh,

$\phi M_n(T)$:

$\phi M_n(T) =$

$$\phi \left\{ \left[\left(\frac{1}{4} \right) n\pi (D_0 - 0.0232i_{corr} T)^2 \right] - \left[\left(\frac{1}{4} \right) n\pi (D_0' - 0.0232i_{corr} T)^2 \right] \right\} f_y \left[d - \frac{a}{2} \right]$$

$$+ \left\{ \left[\left(\frac{1}{4} \right) n\pi (D_0' - 0.0232i_{corr} T)^2 \right] f_s' \right\} (d - d') \quad (28)$$

Kapasitas Momen Terkorosi Sesudah Leleh,

$\phi M_n(T)$:

$\phi M_n(T) =$

$$\phi \left\{ \left[\left(\frac{1}{4} \right) n\pi (D_0 - 0.0232i_{corr} T)^2 \right] - \left[\left(\frac{1}{4} \right) n\pi (D_0' - 0.0232i_{corr} T)^2 \right] \right\} f_y \left[d - \frac{a}{2} \right]$$

$$+ \left\{ \left[\left(\frac{1}{4} \right) n\pi (D_0' - 0.0232i_{corr} T)^2 \right] f_s' \right\} (d - d') \quad (29)$$

Dari hasil yang diperoleh periksalah sesuai syarat:

$$M_u \leq \phi M_n \rightarrow \text{tanpa korosi} \quad (30)$$

$$M_u \leq \phi M_n(T) \rightarrow \text{dengan korosi} \quad (31)$$

bilamana,

$$M_u < \phi M_n(T) \rightarrow \text{safe} \quad (32)$$

$$M_u > \phi M_n(T) \rightarrow \text{fail} \quad (33)$$

❖ Analisis Geser

Luas Tulangan Geser dengan Korosi :

$$A_v(T) = 2 \cdot \left(\frac{1}{4}\right) \pi (D_0 - 0.0232i_{corr} T)^2 \quad (34)$$

Kuat Geser Tulangan dengan Korosi,

$$V_s(T) = \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi (D_0 - 0.0232i_{corr} T)^2 \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (35)$$

Kuat Geser Nominal dengan Korosi,

$$V_n(T) = V_c + V_s(T) \quad (36)$$

$$= \left(\frac{\sqrt{f_c'}}{6} \right) b_w \cdot d$$

$$+ \frac{2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \pi (D_0 - 0.0232i_{corr} T)^2 \cdot f_y \cdot d}{s} \quad (37)$$

Periksa sesuai SNI T-12-2004 Pasal 5.2.1 hal. 31:

$$V_u \leq \phi V_n \rightarrow \text{tanpa korosi} \quad (38)$$

$$V_u \leq \phi V_n(T) \rightarrow \text{dengan korosi} \quad (39)$$

bilamana, $V_u < \phi V_n(T) \rightarrow \text{safe}$ (40)

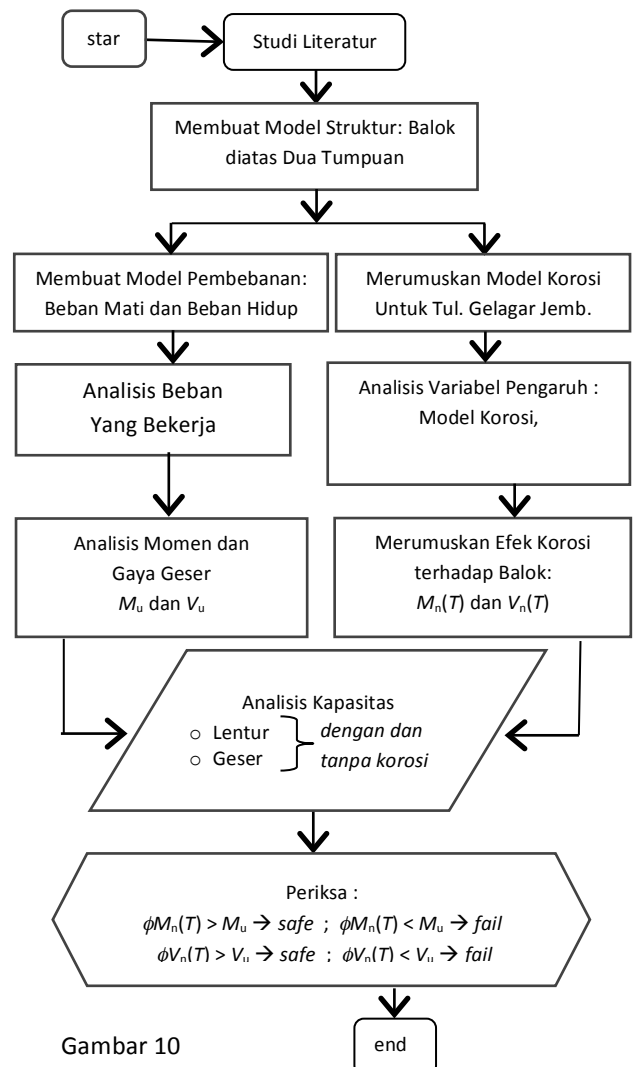
$$V_u > \phi V_n(T) \rightarrow \text{fail} \quad (41)$$

2.4. Metode

❖ Parameter Penelitian

- Variabel deterministik : Panjang bentang (L)
- Variabel non deterministik : Model korosi ; Beban mati (berat sendiri) ; Beban hidup (traffic load) ; Mutu beton (f_c') ; Mutu baja (f_y) ; Selimut beton (p) ; Ratio air-semen (w/c)

❖ Diagram Alir Proses Penelitian



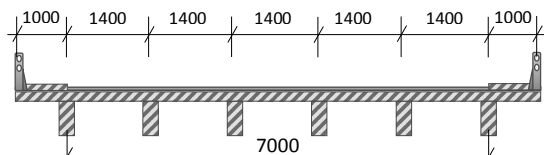
Gambar 10

Diagram Alir Penelitian

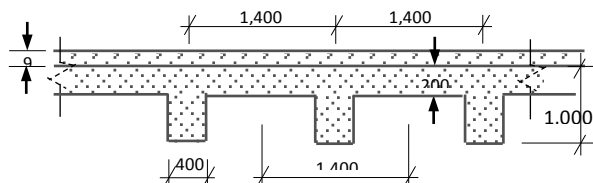
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Memodelkan Struktur Beban Yang Bekerja

❖ Model Struktur

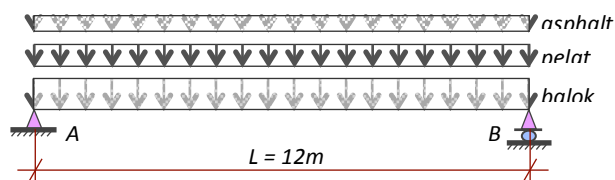


Gambar 11. Potongan melintang jembatan dgn. trotoar



Gambar 12. Typical balok girder jembatan span 12,00

❖ Model Beban Rencana dan Desain Balok Beban Mati



Gambar 13. Beban mati yang bekerja

Beban mati yang bekerja, $(q_1) = 1.9092 \text{ t/m}$
Momen akibat beban mati yang bekerja (M_1) ,
 $M_1 = (1/8) q_a L^2 = 34.3656 \text{ t.m}$

Beban Hidup (AASHTO-LRFD-1998)

Momen dari beban hidup kendaraan sebesar:
 $M_2 = GDF \times M_2 = 0.5260 \times 76.14 = 40.0640 \text{ t.m}$
Sehingga momen total yang bekerja, M_u :
 $M_u = 1,167,581,020 \text{ N.mm}$

4.2. Hasil Penelitian

❖ Hasil Pemeriksaan Lendutan

Untuk Lendutan Ijin,

$$\delta_i = \frac{1}{800} L = \frac{1}{800} \cdot 12000 = 15 \text{ mm}$$

Lendutan Total,

$$\delta_T = 1.40 + 1.19 = 2.60 \text{ mm} (\downarrow) < \delta_i = 15 \text{ mm}$$

❖ Hasil Analisis Kecepatan Korosi

Tabel 1. Kecep. korosi, $i_{corr}(1)$ dgn. $w/c = 0.40$ dan variabel p

No.	p (mm)	37.8	0.40	1-0.40	$(e)^{-1.64}$	$i_{corr}(1)$ [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	$i_{corr}(1)$ [mm/year]
1	25	37.8	0.40	0.60	2.31	3.4945	0.0405
2	35	37.8	0.40	0.60	2.31	2.4961	0.0290
3	45	37.8	0.40	0.60	2.31	1.9414	0.0225
4	55	37.8	0.40	0.60	2.31	1.5884	0.0184
5	65	37.8	0.40	0.60	2.31	1.3440	0.0156

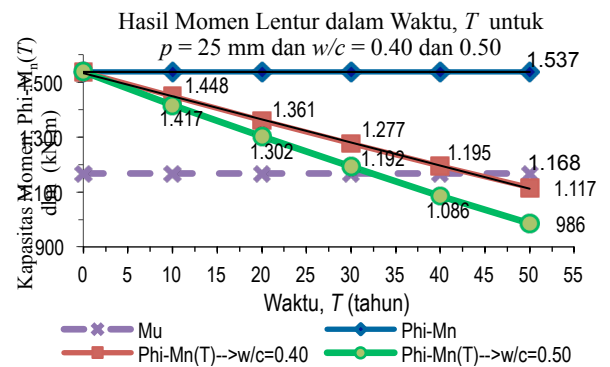
Sumber: Hasil Penelitian

Tabel 2. Kecep. korosi, $i_{corr}(1)$ dgn. $w/c = 0.50$ dan variabel p

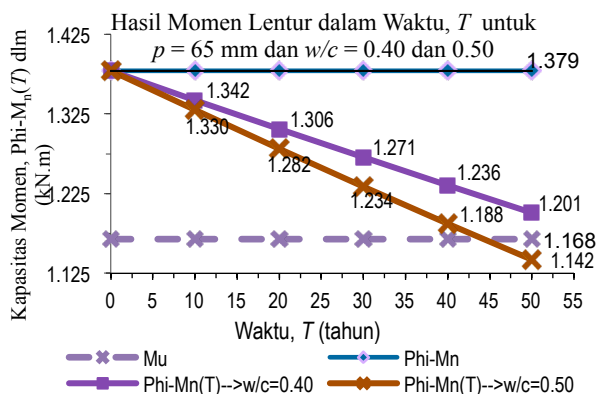
No.	p (mm)	37.8	0.50	1-0.50	$(e)^{-1.64}$	$i_{corr}(1)$ [$\mu\text{A}/\text{cm}^2$]	$i_{corr}(1)$ [mm/year]
1	25	37.8	0.50	0.50	3.12	4.7124	0.0547
2	35	37.8	0.50	0.50	3.12	3.3660	0.0390
3	45	37.8	0.50	0.50	3.12	2.6180	0.0304
4	55	37.8	0.50	0.50	3.12	2.1420	0.0248
5	65	37.8	0.50	0.50	3.12	1.8125	0.0210

Sumber: Hasil Penelitian Note : $1 \mu\text{A}/\text{cm}^2 = 11.6 \mu\text{m}/\text{year}$

❖ Analisis Lentur Akibat Pengaruh Korosi



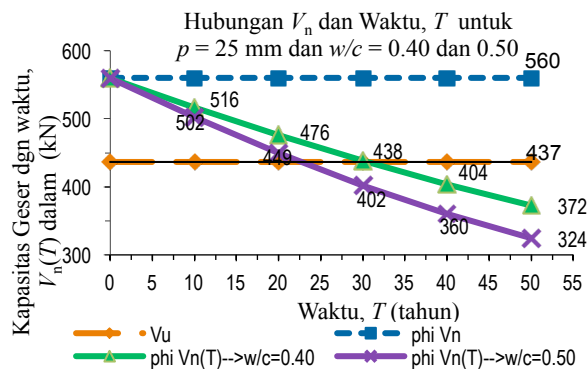
Gambar 14. Grafik Hubungan M_u , M_n dan $M_n(T)$ dan Waktu, T



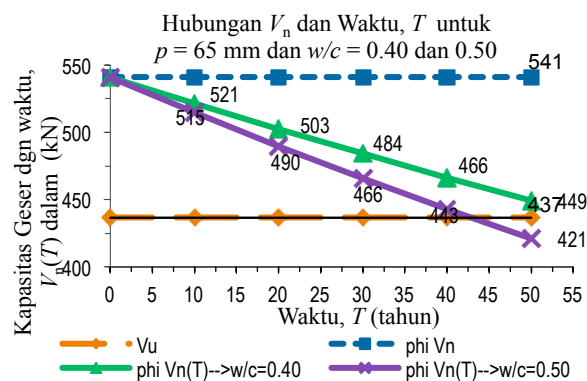
Gambar 15. Grafik Hubungan M_u , M_n dan $M_n(T)$ dan Waktu, T

❖ Analisis Geser Akibat Pengaruh Korosi

Kuat Geser Akibat Pengaruh Korosi (Beban AASHTO)



Gambar 16. Grafik Hubungan V_u , V_n dan $V_n(T)$ dan Waktu, T



Gambar 17. Grafik Hubungan V_u , V_n dan $V_n(T)$ dan Waktu, T

KESIMPULAN

1. Untuk pembebanan AASTHO-LRFD, kapasitas lentur dan geser dengan selimut beton, $p=65\text{mm}$ dan $w/c=0.40$ masih aman selama 50 tahun.
2. Kapasitas geser untuk pembebanan menurut AASTHO-LRFD dengan selimut beton, $p=65\text{mm}$ serta ratio air-semen, $w/c=0.40$ dan 0.50 menghasilkan struktur yang aman > 50 tahun.
3. Umur Struktur Sampai tahun ke-50, yaitu:
 - Kapasitas Lentur Balok dengan Selimut Beton, $p = 25 \text{ mm}$; $w/c = 0.50 \rightarrow 986 \text{ kN.m}$, $w/c = 0.40 \rightarrow 1117 \text{ kN.m}$
 - Kapasitas Lentur Balok dengan Selimut Beton, $p = 65 \text{ mm}$; $w/c = 0.50 \rightarrow 1142 \text{ kN.m}$, $w/c = 0.40 \rightarrow 1201 \text{ kN.m}$
 - Kapasitas Geser Balok dengan Selimut Beton, $p = 25 \text{ mm}$; $w/c = 0.50 \rightarrow 324 \text{ kN}$, $w/c = 0.40 \rightarrow 372 \text{ kN}$

- Kapasitas Geser Balok dengan Selimut Beton, $p = 65 \text{ mm}$; $w/c = 0.50 \rightarrow 421 \text{ kN}$, $w/c = 0.40 \rightarrow 448 \text{ kN}$

DAFTAR PUSTAKA

- DPU, (2004), "SNI T-12-2004, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Jembatan, Penerbit DPU, Jakarta.
- Darmawan M.S., (2006), "Model Korosi untuk Struktur Beton Bertulang di Lingkungan Air Laut", Seminar Nasional Rekayasa Perencanaan VIII 2006, UPN Jatim, Surabaya.
- Ferguson P.M., (1981), "Reinforced Concrete Fundamentals", SI Version, 4th Edition, Penerbit John Wiley & Sons, Inc., USA.
- McCormac Jack C., (2001), "Design of Reinforced Concrete", John Wiley and Sons, Inc., USA.
- Mirza S.A., & MacGregor J.G., (1979), "Variations in Dimensions of Reinforced Concrete Members", Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 105, No. ST4, pp. 751-766.
- Stewart M.G. & Rosowsky D.V., (1998), "Structural Safety and Seviceability of Concrete Bridges Subject to Corrosion", Journal of Structural System, ASCE, Vol. 4th, No. 4, pp. 146-155.
- Roberth H.H., Raka I.G.P., Darmawan M.S. & Wimbadi I., (2011), " Study on Corrosion Effect of Strength Reinforced Concrete Beams based on Probabilistic Theory", Seminar Nasional ATPW 2011, ITS, Surabaya.
- Vu K.A.T. & Stewart M.G., (2000), "Structural Reliability of Concrete Bridges Including Improved Chloride-Induced Corossion Models", Structural Safety, Vol. 22, No. 4, pp. 313-333.