

Analisa Bending Stress Pada Submerged Floating Tunnel

Ahmad Syaiful M¹ dan Wibowo HN¹

Abstrak

Perhitungan dengan pemodelan *Submerged Floating Tunnel* (SFT) dengan menggunakan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga. Analisa struktur terowongan apung menggunakan prinsip kerja dengan mendeskripsikan seluruh beban (*force*) pada SFT berupa beban internal dan eksternal yang bekerja akan diperoleh momen reaksi yang terjadi sepanjang badan SFT, dengan mengetahui luas penampang melintang SFT maka dapat diperoleh *bending stress* di seluruh badan SFT.

Kata kunci : submerged floating tunnel (SFT), bending stress, analisa struktur

Abstract

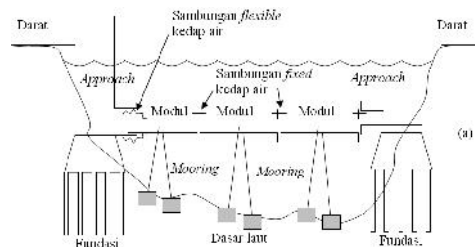
The calculation with modeling *Submerged Floating Tunnel* (SFT) using a software-based finite element method. Analysis using a floating tunnel structure by describing the working principle of the whole load (*force*) on the SFT in the form of internal and external loads that work will be obtained by moment reactions that occur throughout the body SFT, by knowing the cross-sectional area can be obtained from SFT then bending stress throughout the body SFT.

Keywords : submerged floating tunnel (SFT), bending stress, structural analysis

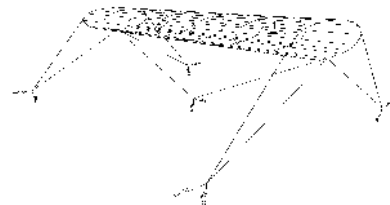
PENDAHULUAN

SFT merupakan salah satu dari beberapa konsep teknologi transportasi yang menjadi solusi untuk menghubungkan antar wilayah yang terpisah dengan perairan di Indonesia, yang di dalam konsep SFT ini terdapat ilmu hidrodinamika dan ilmu struktur. *Submerged Floating Tunnel* (SFT) merupakan terowongan yang melayang dalam air, dibangun di bawah permukaan air laut dan di atas dasar laut. Untuk tipe SFT ini, memiliki *buoyancy* positif, dimana struktur SFT lebih ringan dari air, maka digunakan sistem pengikatan atau *mooring system* dengan menarik ke bawah dan di-*mooring* ke dasar laut. SFT bekerja dengan mengandalkan selisih beban (*gaya*) antara beban tekan ke atas (*gaya* apung) dengan beban terowongan (*gaya* berat) dan beban tambahan untuk muatan. Selanjutnya selisih beban ini akan ditahan dengan kabel baja yang diikat di dasar laut untuk mencapai kestabilan dan keamanan yang diinginkan. Beban yang terjadi pada SFT tidak hanya beban internal saja, namun terdapat beban lingkungan yang berupa gaya gelombang dan gaya arus. Dengan perpaduan antara gaya internal dan eksternal ini, akan terjadi pembebanan secara dinamis yang tentu akan menghasilkan momen reaksi pada SFT. Jika momen reaksi yang terjadi terlalu besar akan berdampak pada kerusakan, baik

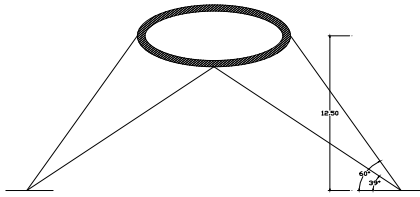
pada SFT sendiri maupun pada *mooring system*.



Gbr. 1 Konsep awal pembangunan SFT



Gbr. 2 konsep *mooring system* SFT per-tiga bagian secara memanjang.



Gbr. 3 Konsep Mooring System SFT dilihat secara Melintang

TINJAUAN TEORITIS

Referensi beban lingkungan ini diambil dari GL2009 untuk *Offshore Structure*, dimana untuk beban arus ini jika bekerja sendiri (tanpa gelombang), dapat dihitung sebagai nilai desain dari tekanan arus laut pada elemen struktur pada kedalaman z di bawah permukaan air tenang didefinisikan sebagai berikut :

$$q_D(z) = \frac{1}{2} \rho u_D^2(z)$$

Dimana:

- $q_d(z)$ = tekanan arus laut [kPa]
- $u_d(z)$ = kecepatan desain arus laut [m/s], untuk SFT ini diambil 1,2 m/det
- = massa jenis air laut = 1,025 [kNs²/m⁴]
- z = koordinat ketinggian muka air laut [m]

Untuk beban gelombang digunakan persamaan morison dimana gaya gelombang dapat dihitung sebagai penjumlahan dari gaya *drag* dan *inertia* sebagai berikut :

$$F = F_D + F_I = \frac{1}{2} \rho \cdot C_D \cdot A \cdot U \cdot |U| + C_M \rho V (\delta U / \delta t)$$

Dimana:

- F = vektor gaya hidrodinamis per satuan panjang yang bekerja dalam arah normal terhadap sumbu benda [kN/m]
- F_D = vektor gaya hambat (*drag*) per unit panjang yang bekerja pada bidang benda dan kecepatan U [kN/m]. Benda dalam hal ini bisa diartikan struktur dari SFT
- F_I = vektor gaya inersia per unit panjang yang bekerja dalam arah normal terhadap sumbu dari benda pada bidang sumbu dan U/t [kN/m]
- C_D = koefisien hambatan dimana diambil senilai ~1,2
- = massa jenis air [kNdet²/m⁴]
- A = Luasan proyeksi normal terhadap sumbu axis SFT per satuan panjang [m]

V = Volume *Displacement* SFT persatuan panjang [m²]

D = diameter efektif dari bentuk member silinder, termasuk fouling [m]

U = komponen vektor kecepatan (dua dari gelombang dan / atau arus) dari air terhadap normal axis dari SFT [m/s]

$|U|$ = Nilai Absolut dari U [m/s]

C_M = koefisien inersia ~2

U/t = komponen vector percepatan lokal dari air terhadap normal axis dari SFT [m/s²]

Diasumsikan :

- Laut Dangkal (*shallow water*)
- Gelombang Sinusoidal
- Tinggi *wave significant* H_s di kepulauan seribu 2,6 m, = 1,219 m (laut dengan nilai seastate = 2), gelombang panjang

Untuk perairan dangkal, hubungan penyebaran ditemukan dengan substitusi $\tanh kh = kh$ dalam persamaan 5.42, maka:

$$\omega = k \cdot \sqrt{gh} \quad (\text{Perairan dangkal}) \quad (5.46)$$

Dan hubungan antara T dan λ pada perairan dangkal menjadi:

$$\lambda = T \cdot \sqrt{gh} \quad (\text{Perairan dangkal}) \quad (5.47)$$

Untuk perairan dangkal, kecepatan komponen air adalah:

$$u = \zeta_a \omega \cdot \frac{1}{kh} \cdot \cos(kx - \omega t)$$

$$w = \zeta_a \omega \cdot \left(1 - \frac{z}{h}\right) \cdot \sin(kx - \omega t)$$

(Perairan dangkal) (5.60)

Kecepatan u dan w diambil maksimum {abaikan fungsi $\cos(kx - t)$ & $\sin(kx - t)$ }

Dimana:

a = tinggi gelombang, diasumsikan H_s
= 2 / T

T = periode gelombang diasumsikan T_p

k = angka gelombang $2 / \lambda$

z = kedalaman benda tercelup di air

h = kedalaman laut [m]

Persamaan di atas diaplikasikan ke dalam persamaan Morison diatas:

Sehingga $U = u$, sedangkan $|U| = \sqrt{u^2 + w^2}$

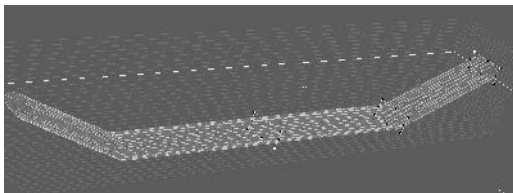
Untuk percepatan U/t di ambil

$$\ddot{u} = +\zeta_n \cdot \omega^2 \cdot \frac{\cosh k(h-z)}{\sinh kh} \cdot \sin(kx - \omega t)$$

Diambil maksimum percepatan {abaikan fungsi $\sin(kx - t)$ }

PEMBAHASAN

Model dibuat melalui perangkat lunak berbasis *b-spline curve* sesuai dengan spesifikasi, lalu dihitung nilai *full displacement* nya dan nilai *2/3 displacement*. Hal ini dilakukan karena diinginkan pada saat tidak di-mooring, SFT dapat terapung 1/3 bagian di atas permukaan air dan 2/3 bagian di bawah permukaan air.



Gbr. 4 Pemodelan SFT menggunakan Perangkat Lunak berbasis *b-spline curve*

Kemudian desain dipindah ke software berbasis metode elemen hingga (FEM) dan dilakukan beberapa pembenahan desain dan penambahan parameter untuk desain model agar nantinya dapat dijalankan (di-running) dengan baik di software tersebut.



Gbr. 5 SFT setelah dipindah ke perangkat lunak Berbasis FEM

Setelah parameter awal dari desain awal telah selesai, kemudian SFT dilakukan konfigurasi mooring system, pengaturan meshing, dan pemberian input berupa beban (gaya) yang bekerja meliputi beban internal (dalam) dan

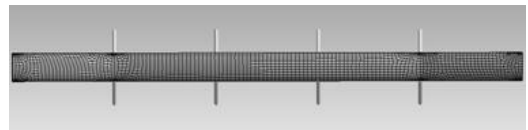
eksternal (luar).

a. Konfigurasi mooring system:

Mooring line dimodelkan sebagai pegas dengan kekakuan axial (E.A/L), dimana E adalah modulus elastisitas, A adalah luas penampang dan L adalah panjang tali mooring. SFT memiliki 22 *mooring lines* dengan nilai *longitudinal stiffness* sebesar 4773587,323 N/m dan *longitudinal damping* sebesar 47735873,23 N.s/m.

b. Pengaturan meshing:

Dua buah metode digunakan dalam *me-meshing* model SFT ini, metode pertama adalah *refinement & menggunakan automatic method* dengan pilihan *quadrilateral dominant*. Metode *refinement* digunakan pada sambungan antara *mooring* dan daerah tekukan serta daerah kritis lainnya, untuk daerah sisanya digunakan metode otomatis dengan elemen *quadrilateral*.



Gbr. 6 SFT setelah di-Meshing di perangkat lunak berbasis FEM

c. Gaya yang bekerja:

Gaya – gaya yang bekerja pada SFT ini terdiri dari beban struktur dan *ballast* (LWT), beban operasional jalan raya atau bebab internal terpusat, beban hidrostatik (kompresi), beban aspal dan jalan, gaya apung (*buoyancy*), beban arus dan beban gelombang. Dimana beban – beban ini diperlihatkan pada Tabel 1. dibawah ini:

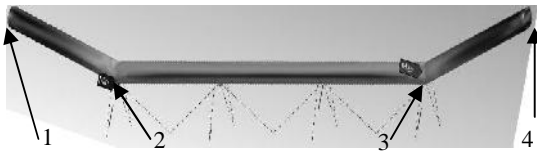
Tabel 1 Gaya yang bekerja pada SFT

Nama Gaya (beban)	Nilai	Satuan
LWT	-87186449,9	N
Gaya internal terpusat	-44000	N
Pressure merata	-8000	Pa
Gaya internal aspal	-1103248	N
Gaya bouyancy	94483800	N
Pressure beban arus	738	Pa
Beban gelombang	6774989,367	N

Batasan masalah pendeskripsian beban lingkungan, bahwa beban lingkungan yang dihitung adalah beban arus dan beban gelombang. Untuk mengetahui

momen reaksi maksimum yang terjadi pada beban lingkungan, maka arah direction / vektor beban ke dua beban tersebut searah (sumbu X positif) sehingga akan menghasilkan superposisi beban lingkungan.

Analisa Momen Reaksi dan *Bending Stress* dipilih pada 4 buah titik / daerah, yaitu pada daerah *fore* (1) dan *after* (4) pada SFT, serta daerah *fore* (2) dan *after* (3) pada sambungan antara SFT dengan *mooring lines*



Gbr. 7 Daerah / titik pada SFT yang dianalisa

Dari perhitungan numerik, maka diperoleh nilai momen reaksi diperlihatkan pada Tabel 1. Dimana momen X adalah momen terhadap sumbu X. Dan momen Z adalah momen terhadap sumbu Z.

Tabel 2 Momen Reaksi SFT dihitung dari Software

Titik	Momen Reaksi	
	Terhadap sb.X	Terhadap sb.Z
1	189,47	-329,83
2	2,05E+06	-9,81E+06
3	-1,43E+06	8,31E+06
4	-262,26	529,92

Dengan menghitung luas permukaan potongan melintang struktur pada SFT, maka diperoleh nilai momen inersia horizontal sebesar 1,0378 m⁴ dan jarak dari nertal aksis sebesar 2 meter. Diperoleh juga nilai momen inersia vertikal sebesar 3,0687 m⁴ dan jarak dari netral aksis sebesar 4 meter. Sehingga diperoleh nilai dari modulus penampang (W). Dengan persamaan:

$$= M/(I/r)$$

dimana:

$$= \text{Bending Stress [N/m}^2\text{]}$$

$$M = \text{Momen Reaksi [N.m]}$$

$$I = \text{Momen Inersia [m}^4\text{]}$$

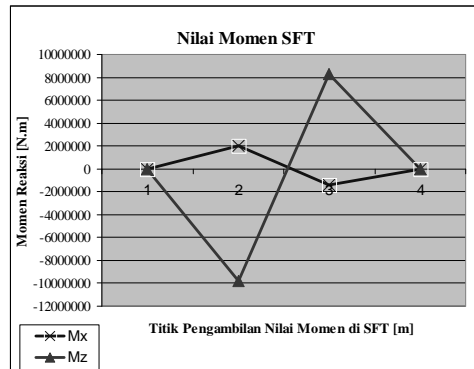
$$r = \text{Jarak dari netral aksis [m]}$$

Sehingga diperoleh nilai *bending stress* pada struktur SFT yang diperlihatkan pada Tabel 2. Stress ini berupa tegangan bending dari beban yang bekerja searah gravitasi (X) dan tegangan *bending* dari arus dan gelombang (Z).

Tabel 3 Nilai Bending Stress SFT

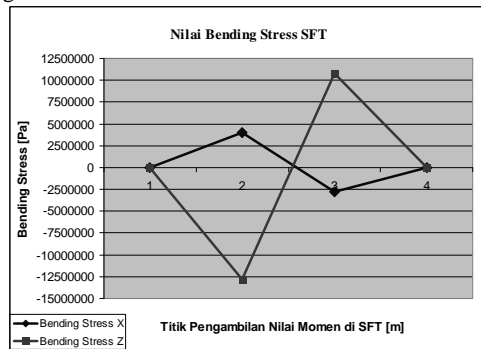
Titik	Bending Stress ()	
	X (MPa)	Z (Mpa)
1	365,137791	-429,9279825
2	3957409,91	-12789259,3
3	-2752746,19	10828298,63
4	-505,415302	690,742008

maka nilai Momen reaksi pada SFT ditunjukkan pada grafik dibawah ini:



Grafik 1 Nilai Momen Reaksi pada 4 Titik di SFT

dan nilai *bending stress* pada SFT ditunjukkan pada grafik dibawah ini:



Grafik 2 Nilai *Bending Stress* pada 4 titik di SFT

KESIMPULAN

Dari studi ini diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

1. Tegangan yang dihasilkan oleh beban lingkungan jauh lebih besar dibandingkan beban muatan SFT
2. Untuk beban muatan *bending stress* terbesar terjadi pada daerah tekukan yang mungkin disebabkan oleh adanya konsentrasi tegangan pada daerah tersebut.
3. Daerah yang sama juga terjadi untuk beban lingkungan.

Perhitungan beban lingkungan pada studi ini merupakan pendekatan sehingga pengujian hidrodinamika untuk kondisi lingkungan yang sebenarnya sangat perlu untuk dipertimbangkan.

Dari segi desain perlu dihilangkan daerah tekukan tajam untuk menghindari konsentrasi tegangan yang besar dan penambahan beban hidrodinamis akibat faktor turbulensi aliran.

DAFTAR PUSTAKA

ANSYS user guide

Germanischer Rule (2009) for Offshore Structure & Submarine

Prasodjo, B.S., Rumanto, B (2008). "*Submerged Floating Tunnel (SFT) –State of the Art–*", jurnal wave Vol. 2, No. 1, UPT.BPPH – BPPT, Surabaya

Reddy D.V and Arockiasamy, M," OFFSHORE STRUCTURE Vol I", Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1991

Syafi'ul, A (2008). "*Analisa Distorsi dan Tegangan Sisa Sambungan Tumpul pada Pelat akibat Quenching dengan Metode Elemen Hingga*", jurnal wave Vol. 2, No. 1, UPT.BPPH – BPPT, Surabaya