

## ANALISIS KELELAHAN (*FATIGUE*) PADA TALI TAMBAT RUMPON

Juswan<sup>1</sup> dan Budiman<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Staf Pengajar Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar

<sup>2</sup>Dosen Sekolah Tinggi Teknologi Balik Diwa Makassar

### ABSTRAK

Rumpon sebagai salah satu sarana penangkapan ikan dalam pengoperasiannya di laut rentan terhadap pengaruh beban dinamis dari luar, seperti gelombang, arus, dan angin sehingga struktur peka terhadap kelelahan. Salah satu masalah pada rumpon yaitu pada tali tambatnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan tali dapat menahan bebas dinamis yang bekerja dan memberikan informasi kepada para nelayan mengenai kemampuan tali tambat pada rumpon yang mereka miliki. Disamping itu menjadi masukan bagi yang ingin menganalisa kelelahan pada tali yang terbuat dari bahan nilon. Nilai konstanta material C tali tambat rumpon yang terbuat dari bahan nilon ditentukan dari hasil uji laboratorium dan data dari nelayan pemilik rumpon di Mamuju. Metode yang dilakukan yaitu dengan menentukan besar tegangan yang bekerja pada tali yang kemudian diperbandingkan dengan tegangan ultimate ( $\sigma_u$ ) untuk material yang sama dengan tujuan untuk mengetahui kemampuan tali yang menahan beban yang bekerja. Dalam menentukan nilai dari konstanta material C digunakan rumus Paris, yang kemudian dimodifikasi sehingga akan diperoleh nilai dari konstanta material C. Hasil analisa menunjukkan bahwa tali tambat rumpon yang digunakan dapat menahan beban yang bekerja akibat tarikan rumpon yaitu  $1,22 \times 10^7 \text{ N/m}^2 < 4,2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$  dengan nilai konstanta material C untuk bahan nilon sebesar  $1,35 \times 10^{-10}$ .

**Kata kunci:** Kelelahan, Material, Rumpon, Tali.

### PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara maritim dengan luas laut 2/3 dari total luas wilayahnya. Sampai saat ini ironisnya dari sisi ekspor Indonesia hanya mampu menghasilkan devisa sebesar US\$ 2 milyar atau berada di posisi ke 12 dunia pada tahun 2006 (FAO Fishstat, 2008). Posisinya berada di bawah Vietnam dan Thailand yang sebenarnya memiliki sumber daya terbatas dan jauh di bawah Indonesia, sehingga perlu dilakukan eksplorasi dan eksploitasi hasil laut. Dalam proses eksploitasi hasil laut, bidang perencanaan dan bangunan lepas pantai menjadi suatu hal yang penting. Jenis-jenis struktur terapung pada struktur lepas pantai memiliki berbagai jenis dan kegunaan. Struktur tersebut tidak terbatas hanya untuk penggunaan eksplorasi minyak, namun dalam dunia perikanan dapat pula kita

jumpai struktur terapung lepas pantai yaitu rumpon.

Rumpon merupakan alat bantu penangkapan ikan dalam pengoperasiannya di laut bebas rentan terhadap pengaruh gaya-gaya luar, seperti eksitasi gelombang, arus dan angin, sehingga akhirnya mempengaruhi stabilitas bangunan tersebut. Untuk keamanan Rumpon, maka bangunan tersebut perlu diikat kesuatu tiang penambat atau jangkar. Struktur utama dari rumpon terdiri dari bambu, tali tambat yang diikatkan pada beton pracetak yang ditempatkan didasar laut.

Struktur rumpon yang terapung akan mendapatkan beban dinamik sehingga mengakibatkan bagian-bagian struktur peka terhadap kelelahan (*fatigue*), salah satunya yaitu tali rumpon. Tali rumpon akan mengalami tegangan tarik yang tinggi karena disebabkan oleh adanya pergerakan translasi arah vertikal

(*Heaving*) dan horisontal (*Surging*) dari struktur utama. Pembebanan dan penghilangan beban berulang-ulang walaupun tidak melampaui titik leleh dapat mengakibatkan keruntuhan. Fenomena ini disebut kelelahan. Kelelahan dapat terjadi walaupun semua kondisi struktur ideal, yaitu kelihatan takiknya baik, tidak ada konsentrasi tegangan akibat lubang atau takik, kondisi tegangannya uniaksial, dan lain-lain.

Sistem penambatannya yang kaku menyebabkan gerakan rumpon pada saat terkena gelombang menjadi terbatas. Keseimbangan dari struktur Rumpon menjadi sangat penting yang hanya bertumpu pada besarnya tegangan tali yang diikat di dasar laut. Seperti diketahui bahwa beban gelombang yang berulang merupakan peristiwa yang tidak bisa dihindari oleh struktur selama masa operasional. Beban gelombang yang berulang dapat mengakibatkan rusaknya elemen struktur atau putusya tali penambat dari struktur tersebut. Oleh karena itu diperlukan suatu analisa yang teliti terhadap pengaruh gaya gelombang pada suatu perencanaan struktur rumpon. Untuk mengetahui pengaruh beban berulang dari gaya gelombang terhadap rumpon, akan dilakukan analisis untuk mengetahui kelelahan tali rumpon. Dalam hal ini menentukan nilai konstanta material (C) dengan memakai rumus Paris.

## MATERI DAN METODE

### a. Gelombang Airy

Teori gelombang Airy disebut juga teori gelombang amplitudo kecil, yang mana diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran *Irrotational*. Teori ini memberikan persamaan untuk panjang gelombang, kecepatan gelombang, serta kecepatan dan percepatan partikel air sebagai berikut:

1) Panjang gelombang (L) :

$$L = \left(\frac{gT^2}{2\pi}\right) \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \dots\dots\dots (1)$$

2) Kecepatan gelombang (C):

$$C = \left(\frac{gT}{2\pi}\right) \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \dots\dots\dots(2)$$

3) Kecepatan partikel air arah horizontal (U) :

$$u = \left(\frac{\pi H}{T}\right) \left(\frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd}\right) \cos(kx - wt) \dots\dots\dots(3)$$

4) Kecepatan partikel air arah vertikal (v) :

$$v = \left(\frac{\pi H}{T}\right) \left(\frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd}\right) \sin(kx - wt) \dots\dots\dots(4)$$

5) Percepatan partikel arah horizontal ( $a_x$ ) :

$$a_x = \left(\frac{2\pi^2 H}{T^2}\right) \left(\frac{\cosh k(d+y)}{\sinh kd}\right) \sin(kx - wt) \dots\dots\dots(5)$$

6) Percepatan partikel arah vertical ( $a_y$ ) :

$$a_y = \left(\frac{2\pi^2 H}{T^2}\right) \left(\frac{\sinh k(d+y)}{\sinh kd}\right) \cos(kx - wt) \dots\dots\dots(6)$$

7) Panjang gelombang (L) :

$$L = \left(\frac{gT^2}{2\pi}\right) \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \dots\dots\dots(7)$$

**b. Beban gelombang**

Analisa untuk beban gelombang pada struktur atau benda ada beberapa macam persamaan, diantaranya persamaan Morison dan persamaan teori Difraksi. Dimana syarat untuk menggunakan persamaan Morison yaitu perbandingan antara diameter pipa dengan panjang gelombang (D/L) harus tidak lebih dari 1/20.

Apabila syarat pada persamaan Morison tidak terpenuhi, dengan kata lain D/L lebih besar dari 1/20, maka dapat digunakan persamaan teori Difraksi. Persamaan ini digunakan bila gelombang yang datang terhalang oleh benda, sehingga dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Adapun persamaan tersebut sebagai berikut :

$$F_{ds} = 1/2\rho g H^2 C_d \Delta^{1/3} \dots\dots\dots(8)$$

- Dimana :
- $\rho$  = massa jenis air laut (1,025 kg/m<sup>3</sup>)
  - $C_d$  = koefisien drag
  - $g$  = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)
  - $H$  = tinggi gelombang (m)
  - $\Delta$  = displacemen volume (m<sup>3</sup>)

**c. Beban angin**

Untuk menganalisa beban angin pada struktur/benda terapung digunakan persamaan sebagai berikut :

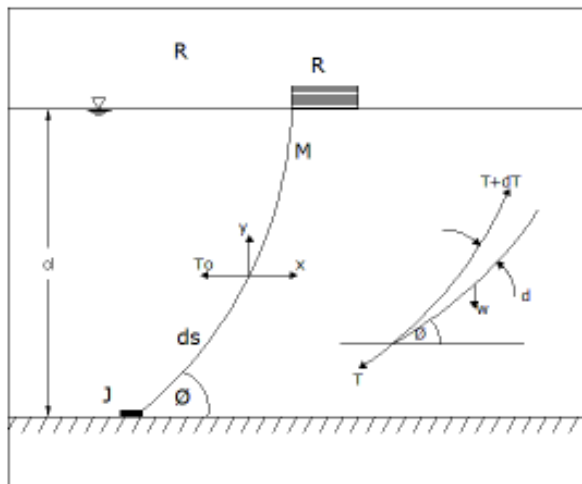
$$F_w = 0,5\rho C_f AV^2 \dots\dots\dots(9)$$

- Dimana :
- $F_w$  = beban angin (N)
  - $\rho$  = massa jenis air laut (1,025 kg/m<sup>3</sup>)
  - $C_f$  = koefisien gaya angin
  - $A$  = luas bidang tangkap angin (m<sup>2</sup>)
  - $V$  = kecepatan angin (m/s)

**d. Tegangan Tali**

Tali tambat (*mooring line*) pada rumpon merupakan penghubung antara badan rumpon dengan jangkar. Dalam hal ini, tali tambat yang digunakan terbuat dari bahan nilon. Tegangan pada tali tambat terjadi karena adanya gaya yang bekerja pada badan rumpon sehingga menimbulkan tarikan pada tali. Selain itu, tegangan juga disebabkan oleh berat dari tali itu sendiri.

Gaya yang bekerja pada struktur diasumsikan sebagai gaya yang bekerja pada tali karena tali mengalami tarikan dari struktur (Gambar 1). Dari gambar 1, beban arah normal dan beban pada sudut  $\theta$  dapat dituliskan



Gambar 1. Gaya pada Mooring Line

- Keterangan gambar :
- R = badan Rumpon
  - M = tali tambat (*mooring line*)
  - J = jangkar (*anchor*)
  - d = kedalaman
  - ds = panjang tali
  - w = berat tali
  - $T_o$  = gaya normal arah horizontal
  - T = beban total tali
  - $\theta$  = sudut antara tali dengan bidang horizontal

sebagai berikut (Teng H Hsu, 1984):

$$(T + dT) \sin d\theta = w \cos \theta ds \dots \dots \dots (10)$$

$$(T + dT) \cos d\theta = T + w \sin \theta ds \dots \dots \dots (11)$$

Jika  $d\theta$  kecil,  $\sin d\theta = d\theta$ , dan  $dT d\theta = 0$ , maka persamaan (10) dan (11) menjadi :

$$T d\theta = w \cos \theta ds \dots \dots \dots (12)$$

$$(dT) = w \sin \theta ds \dots \dots \dots (13)$$

Dari persamaan (10) dan (11), diperoleh

$$T \cos \theta = T_0 = T_H \dots \dots \dots (14)$$

Dimana :

$$T_0 = \text{beban awal tali, } (\theta = 0)$$

Persamaan (14) merupakan beban tali horizontal yang nilainya konstan.

Dari persamaan (14),  $T = T_0 / \cos \theta$ . Jika dimasukkan ke persamaan (12), menjadi :

$$T \sin \theta = ws = T_v \dots \dots \dots (15)$$

Persamaan (13) merupakan komponen beban tali vertikal ( $T_v$ ) yang nilainya juga sama dengan berat tali dalam air dikalikan dengan panjang tali dari dasar jangkar ke permukaan air, sehingga beban total tali diperoleh dari persamaan berikut :

$$T = \sqrt{T_H^2 + T_v^2} \dots \dots \dots (16)$$

$$T = [T_0^2 + (ws)^2]^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (17)$$

Dengan demikian, tegangan tali ( $\sigma$ ) yaitu

$$\sigma = \frac{T}{A} \dots \dots \dots (18)$$

Tegangan yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan tegangan ultimate ( $\sigma_u$ ) tali. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan tali untuk menahan tegangan yang

bekerja, dimana tegangan ultimate ( $\sigma_u$ ) untuk tali nilon sebesar 6 ksi =  $4,2 \times 10^7$  N/m<sup>2</sup>.

**e. Perpatahan fatik**

Sebagai pendekatan untuk mengatasi masalah perpatahan pada material yaitu dengan menerapkan mekanika perpatahan. Pada kondisi regangan statis keadaan tegangan dekat ujung retak dinyatakan dengan K, yaitu faktor intensitas tegangan yang diukur dalam MN/m<sup>2</sup>. Untuk keadaan umum, faktor intensitas tegangan K dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$K = \alpha \sigma \sqrt{\pi a} \dots \dots \dots (19)$$

**f. Analisa umur tali**

Untuk menganalisa umur kelelahan (*fatigue life*) suatu struktur (dalam hal ini tali), pada umumnya menggunakan grafik S-N. dari grafik tersebut dapat ditentukan besar tegangan untuk suatu jumlah siklus beban tertentu yang diinginkan.

Bila jumlah siklus beban dan periode untuk setiap siklus diketahui, maka umur tali dapat diprediksi, sebagai berikut :

$$T_p = N \cdot T \cdot \Delta_0 \dots \dots \dots (20)$$

Dimana :

$T_p$  = umur rencana struktur (tahun)

$N$  = jumlah siklus beban (siklus)

$T$  = periode gelombang signifikan (detik)

$\Delta_0$  = nilai keruntuhan struktur (< 1), didasarkan pada tingkat kesukaran untuk menganalisa daerah yang dianalisis

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Hasil Analisa Beban Lingkungan**

**1. Analisa beban gelombang**

Adapun tahap perhitungan beban gelombang berdasarkan data yang diperoleh yaitu sebagai berikut:

**a) Penentuan teori gelombang.**

Untuk penentuan teori gelombang, mengacu pada ketentuan yang berlaku. Untuk itu, syarat yang ditentukan harus sesuai dengan teori yang akan digunakan. Persamaannya sebagai berikut:

$$\frac{H \cdot L^2}{d^3} \dots \dots \dots (21)$$

Dari data yang diperoleh yaitu H = 3,6 m; L = 25,8 m; dan d = 1200 m, maka

$$\frac{(3,6) \cdot (25,8)^2}{(1200)^3} = 1,4 \times 10^{-6} < 15$$

Hasil perhitungan di atas, menunjukkan bahwa teori gelombang yang digunakan yaitu teori gelombang Airy. Hal ini sesuai

berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran *Irrotational*.

**b) Penentuan periode gelombang.**

Untuk menentukan periode gelombang (T) digunakan persamaan (1) (Triatmodjo B.1999) sebagai berikut :

$$T^2 = \frac{2\pi L}{g \tanh \frac{2\pi h}{L}} \dots \dots \dots (22)$$

Dimana :

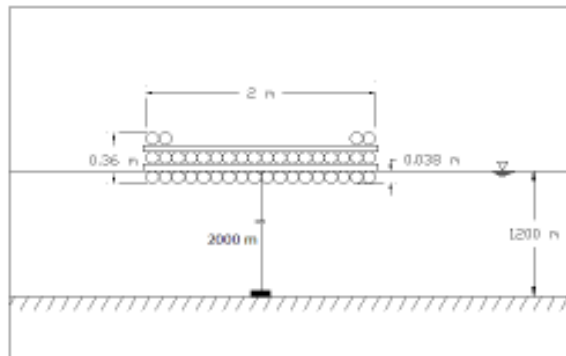
g = percepatan gravitasi (9,81 m/s<sup>2</sup>)

λ = panjang gelombang

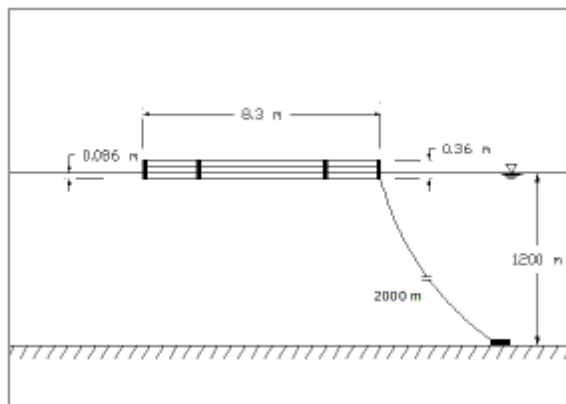
dengan menggunakan persamaan (22), maka T = 3,89 detik, dengan panjang gelombang signifikan (L) = 25,6 m

**c) Beban gelombang**

Untuk memilih persamaan gaya gelombang yang digunakan, kita mengacu pada syarat yang telah ditentukan. Pada persamaan



Gambar 2. Proyeksi dari Depan (sumbu x)



Gambar 3. Proyeksi dari Samping (sumbu z)

morison diisyaratkan bahwa  $D/L < 1/20$ , dimana  $D = 2$  m dan  $L = 25,6$  m yaitu  $0,08 > 1/20$  (tidak memenuhi).

Dengan demikian beban gelombang pada Rumpon dihitung dengan menggunakan persamaan (8).

Dari persamaan tersebut, maka beban gelombang yang bekerja pada rumpon yaitu sebesar 2936,802 N. Adapun dimensi rumpon, seperti pada Gambar 2 dan 3.

**2. Analisa beban angin**

Beban angin pada badan rumpon dapat dihitung dengan persamaan (9), maka nilai beban angin yang bekerja pada badan rumpon yaitu sebesar 90,773 N, sehingga nilai total ( $F_T = F_{ds} + F_w$  pada badan rumpon diperoleh  $F_T = 3027,575$ . Luas proyeksi bangunan tangkap angin seperti Gambar 4.

**B. Analisa tegangan tali**

Untuk menganalisa tegangan yang terjadi pada tali, terlebih dahulu harus ditentukan gaya yang bekerja pada tali, sebagai berikut:

- a) Gaya-gaya yang bekerja pada tali dihitung

sebagai berikut:

- 1. Gaya pada tali arah horizontal ( $T_H$ ).  
yaitu gaya akibat tarikan badan Rumpon arah horisontal, sesuai pada persamaan (12) sebagai berikut:  $T_H = T_o = F_T T_H = T_o = 3027,575$  N

- 2. Gaya pada tali arah vertikal ( $T_V$ ).  
Untuk menentukan gaya pada tali arah vertikal digunakan persamaan (13), sebagai berikut:  $T_V = w s = 600$  N

- 3. Gaya total pada tali ( $T$ ).  
Untuk menentukan gaya total pada tali digunakan persamaan (16), sebagai berikut:

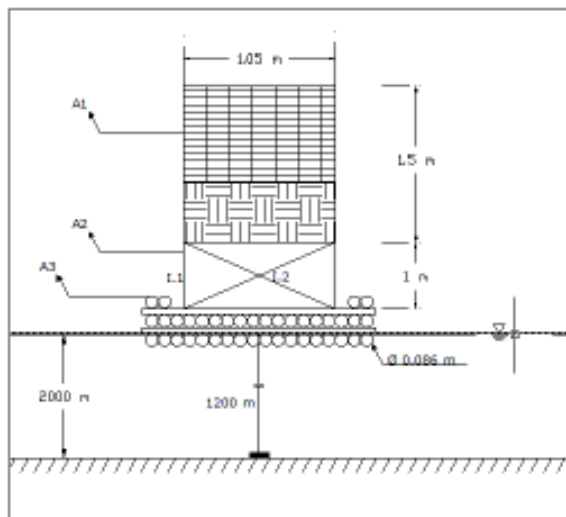
$$T = \sqrt{T_H^2 + T_V^2} = 3086,456 \text{ N}$$

- a) Tegangan tali ( $\sigma_{tali}$ )

Untuk menentukan tegangan pada tali digunakan persamaan (18) sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{T}{A} = 12151401,41 \text{ N/m}^2$$

Dari hasil yang diperoleh, ternyata nilai tegangan yang bekerja pada tali tambat rumpon



Gambar 4. Proyeksi Badan Rumpon dari Depan

lebih kecil dari pada tegangan ultimate tali nilon. Dengan demikian, tali nilon dapat digunakan sebagai tali tambat pada rumpon. Dimana, nilai tegangan ultimate tali nilon yaitu sebesar  $4,2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ , sedangkan nilai tegangan yang bekerja pada tali tambat rumpon yaitu sebesar  $1,22 \times 10^7 \text{ N/m}^2$ .

**C. Penentuan konstanta material C**

Konstanta material C pada rumus Paris yang telah ditentukan hanya untuk material baja, yang mana nilainya diperoleh dari uji laboratorium yaitu  $4,3 \times 10^{-14}$ . Langkah-langkah yang digunakan menentukan nilai konstanta C tali nilon melalui rumus Paris adalah dengan mengetahui umur tali tambat rumpon yang ada di lapangan. Selanjutnya, mengikuti prosedur berikut ini :

1) Menentukan faktor intensitas tegangan (K)

Faktor intensitas tegangan (K) dihitung dengan menggunakan persamaan (19) berikut :

$$K = \frac{\alpha \sigma \sqrt{\pi a}}{\sqrt{(3,14)(0,5 \times 10^{-3})}} = \frac{1,12 \times 1,215140141}{\sqrt{(3,14)(0,5 \times 10^{-3})}} = 0,54 \text{ MN/m}^2$$

2) Menghitung jumlah siklus (N)

Jumlah siklus (N) dari retak awal dihitung dengan menggunakan persamaan (20)

$$T_p = N.T.\Delta_0 = 3,495 \times 10^7 \text{ siklus}$$

3) Menentukan nilai konstanta C

Setelah jumlah siklus (N) dan faktor intensitas tegangan ( $\Delta K$ ) diketahui, maka tahap selanjutnya yaitu menentukan jumlah siklus untuk tiap penjaralan retak, dengan persamaan sebagai berikut :

$$N = dN_{12} + dN_{23} + dN_{34} + \dots + dN_{(n-1)n} \dots \dots \dots (23)$$

Ditinjau dari jumlah keretakan yang terjadi, maka persamaan (23) menjadi :

$$N = dN_{12} + dN_{23} + dN_{34} + dN_{45} + dN_{56} + dN_{67} + dN_{78} + dN_{89} \dots \dots \dots (24)$$

Jika persamaan (23) dimasukkan dalam persamaan (24), maka akan diperoleh

$$\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^m \dots \dots \dots (25)$$

Dari persamaan (25), diperoleh nilai konstanta material C pada rumus paris untuk tali yang terbuat dari nilon yaitu  $1,35 \times 10^{-10}$ .

**KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pembahasan yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- a) Dari hasil analisis tegangan tali akibat gaya tarik dari badan rumpon diperoleh nilai tegangan yaitu  $1,22 \times 10^7 \text{ N/m}^2 < \text{tegangan ultimate pada tali nilon} < 4,2 \times 10^7 \text{ N/m}^2$
- b) Nilai konstanta material C pada rumus Paris untuk tali yang terbuat dari nilon yaitu  $1,35 \times 10^{-10}$ .

**DAFTAR PUSTAKA**

Djurumudi S, Analisis Kelelahan STS pada Ladang Minyak Attaka. PT. Unocal co. Balikpapan, UNHAS, Makassar, 2003.

Haslimin, 2008, Eksperimen Gelombang Pada Struktur Terapung, Universitas Hasanuddin, Makassar.

Husain S. 1992. Analisis Kelelahan Elemen Tendon Struktur Bangunan Lepas Pantai Berdasarkan Spektrum Beban Dinamis Gelombang. ITB,.

Hsu. Teng H, Applied Offshore Structural Engineering, Houston, London, Paris, Tokyo, 1984.

Juswan, M.A.Djabbar, 2009. Eksperiment of Large Body in Strong Wave. Prosiding

- Seminar Nasional. Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan. Surabaya.
- Larsson L.H. 1981. Subcritical Crack Growth Due To Fatigue, Stress Corrosion and Creep. Join Research Centre. Ispra. Italy.
- Pieter E. George. Djaprie S. 1990. Metalurgi Mekanik, Jilid I. Erlangga. Jakarta.
- Salmon C. G, Struktur Baja. Jilid 1, Edisi II. Erlangga. Jakarta.
- Smallman R. E. 1991. Metalurgi Fisik Modern. Edisi IV. Gramedia. Jakarta.
- Thomas H Dawson. 1983. Offshore Structural Engineering. Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Triatmodjo, B. 1999. Teknik Pantai. Beta offset. Yogyakarta.