

## ANALISIS KELELAHAN STRUKTUR ANTAR TIANG PANCANG PADA ANJUNGAN LEPAS PANTAI TIPE STS DI SELAT MAKASSAR DENGAN METODE *FRACTURE MECHANICS*

Asyer Arung

Sjachrul Balamba, Lanny D. K. Manaroinsong

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi

Email : [asyerarung@yahoo.co.id](mailto:asyerarung@yahoo.co.id)

### ABSTRAK

*Kelelahan struktur merupakan suatu proses dari kumulatif kerusakan yang disebabkan oleh pengulangan fluktuasi beban yang dapat mengakibatkan keruntuhan meskipun beban yang diterima tidak melebihi batas maksimum untuk beban statik. Beban gelombang lebih kecil dibanding dengan beban yang direncanakan pada beberapa tipe bangunan offshore, namun beban gelombang sebagai beban berulang berpotensi untuk menimbulkan retakan kecil khususnya pada sambungan baja. Tugas akhir ini bertujuan untuk menganalisis kelelahan struktur sambungan antar tiang pancang pada anjungan lepas pantai tipe STS di selat Makassar. Analisis kelelahan (*fatigue*) dilakukan dengan metode *fracture mechanics* yang kemudian hasilnya digunakan dalam menghitung umur kelelahan (*fatigue life*) akibat beban berulang (beban gelombang), sehingga diperoleh umur kelelahan (*fatigue life*) untuk tinggi gelombang  $H = 1,642$  m dengan umur bangunan adalah 97.465 tahun.*

*Kata kunci: offshore, fatigue, gelombang, pondasi*

### I. PENDAHULUAN

#### I.1. Latar Belakang

Bangunan seperti gedung bertingkat umumnya sering menggunakan desain berdasarkan tegangan ijin dan jarang menggunakan desain *fatigue*, dikarenakan pada gedung bertingkat jarang mengalami beban berulang, sedangkan pada bangunan *offshore*, desain *fatigue* lebih sering digunakan karena adanya beban berulang seperti pada beban gelombang.

Beban gelombang lebih kecil dibandingkan dengan beban yang direncanakan pada beberapa tipe bangunan *offshore*, namun beban gelombang berpotensi untuk menimbulkan retakan kecil pada sambungan-sambungan struktur khususnya pada baja. Hal ini meningkatkan risiko terjadinya kegagalan/keruntuhan bagi struktur bangunan terutama pada bagian-bagian sambungan. Suatu struktur lepas pantai memiliki perbedaan dengan struktur-struktur pada daratan, hal ini dikarenakan banyaknya beban-beban yang lebih kompleks yang menggambarkan kondisi suatu perairan di lokasi tinjauan. Dalam analisa struktur diperlukan suatu desain struktur yang aman serta dapat memenuhi kebutuhan selama panjang umur layanan.

Ditinjau dari keamanan suatu struktur, terutama pada struktur lepas pantai, dimana jenis pembebanan yang terjadi adalah pembebanan secara dinamik maupun secara statik. Pembebanan yang bersifat dinamik terjadi akibat pembebanan secara berulang yang dapat mengakibatkan kegagalan/keruntuhan mekanik pada

struktur yang lebih dikenal sebagai kelelahan (*fatigue*) struktur. *Fatigue* dikenal sebagai suatu proses dari kumulatif kerusakan yang disebabkan oleh pengulangan fluktuasi beban yang dapat mengakibatkan keruntuhan meskipun beban yang diberikan tidak melebihi batas maksimum untuk beban statik. Dari kasus seperti ini menarik untuk dilakukan suatu penelitian serta menunjukkan bahwa *fatigue* sangat penting untuk diperhatikan dalam menganalisa struktur terutama pada jenis bangunan yang sifat pembebanannya berupa pembebanan berulang.

Ditinjau dari beberapa struktur bangunan yang menerima beban secara berulang seperti pada bangunan anjungan lepas pantai, struktur jembatan serta bangunan-bangunan lepas pantai lainnya, dimana masa pelayanan dari bangunan tersebut tergolong lama, dan selama masa pelayanannya struktur ini selalu menerima pembebanan secara berulang yang dapat berakibat keruntuhan/kegagalan serta kerusakan, oleh karena itu dilakukan evaluasi dan pengontrolan terhadap tingkat kerusakan yang dapat digunakan sebagai suatu pertimbangan dalam mengambil keputusan untuk memastikan bahwa struktur tersebut aman digunakan selama masa pelayanan.

#### I.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka perlu dilakukan analisis kelelahan (*fatigue*) struktur pada anjungan lepas pantai di selat Makassar dalam

menerima beban berulang (Beban Gelombang) sebagai beban horisontal selama masa pelayanannya.

### I.3. Pembatasan Masalah

Masalah-masalah yang terjadi sangat kompleks dan cakupannya sangat luas sehingga dalam tulisan ini penulis membatasi penelitian pada kondisi :

- ✚ Beban yang ditinjau yaitu beban lateral akibat gelombang dan beban aksial (Berat sendiri)
- ✚ Tidak memperhitungkan pengaruh muka air tanah
- ✚ Tanah lempung homogen
- ✚ Tidak memperhitungkan penurunan
- ✚ Menghitung kekuatan pondasi menahan beban lateral akibat beban gelombang
- ✚ Perhitungan pembebanan dengan bantuan Aplikasi SAP2000

### I.4. Tujuan Penelitian

Dalam menganalisis kelelahan (*fatigue*) suatu struktur sambungan antar tiang pancang pada Anjungan lepas pantai di selat Makassar, maka tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk menganalisis *fatigue* pada sambungan antartiang pancang akibat beban gelombang.

### I.5. Manfaat Penelitian

Tugas Akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam bidang ketekniksipilan, terutama dalam menambah wawasan tentang ilmu bangunan lepas pantai khususnya pada analisis *fatigue* dan juga diharapkan dapat menjadi referensi untuk mengembangkan wawasan keilmuan tentang bangunan lepas Pantai khususnya di Jurusan Teknik Sipil Unsrat di masa yang akan datang, sehingga dapat menambah wacana baru dalam bidang ketekniksipilan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### II.1. Gelombang dan Karakteristiknya

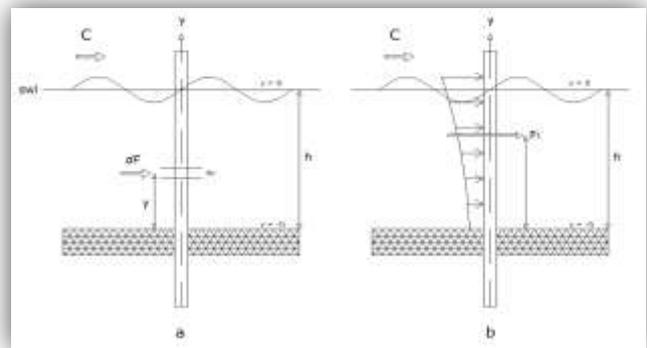
Gelombang laut adalah salah satu fenomena alam yang selalu terjadi di laut. Gelombang di lautan sangat bervariasi dan kompleks keberadaannya. Pada umumnya gelombang laut disebabkan oleh tiupan angin, baik langsung maupun tidak langsung. Peristiwa ini merupakan peristiwa pemindahan energi angin menjadi energi gelombang di permukaan laut dan gelombang itu sendiri meneruskan energinya kepada gerakan molekul air.

Gelombang yang terjadi di lautan dapat diklasifikasikan menjadi beberapa macam tergantung pada gaya pembangkitnya. Pembangkit gelombang laut dapat disebabkan oleh: angin (gelombang angin), gaya tarik menarik bumi-bulan-matahari (gelombang pasang surut), gempa (vulkanik ataupun tektonik) di dasar laut (gelombang tsunami), jatuhnya benda-benda langit serta gelombang akibat gerakan kapal.

Gelombang dapat dijelaskan sebagai permukaan air yang merupakan bukit-bukit dan lembah-lembah diantaranya, yang menjalar berurutan sambung-menyambung dari suatu bagian ke bagian lainnya (Arief, 1980). Gelombang yang terjadi pada batas antara dua media yang berlainan misalnya pada batas air dan udara disebut gelombang permukaan (*surface wave*), sedangkan gelombang yang terjadi pada batas antara dua media yang berlainan densitasnya disebut gelombang bawah permukaan.

### II.1.1. Teori Gelombang Morison

Gaya gelombang pada tiang tunggal akibat pembebanan gelombang.



Gambar 1. Gaya Gelombang pada Tiang Tunggal

Gaya gelombang yang bekerja pada anjungan atau struktur lepas pantai dapat dihitung dengan 3 cara :

- ✚ Teori Morison ( $d/L < 0.2$ )  
Bila ukuran struktur jauh lebih kecil dari panjang gelombang maka berlaku teori Morison. Keadaan tersebut ditandai dengan munculnya "wake" / olakan di belakang / di depan struktur ketika gelombang melintas.
- ✚ Teori Froude – Krylov ( $d/L > 0.2$ )  
Bila ukuran struktur cukup besar dibanding panjang gelombang (dalam orde 1/5 sampai 1 kali panjang gelombang), maka berlaku teori Froude-Krylov. Kondisi ini ditandai dengan tidak jelasnya "wake" / olakan (jejak-jejak gelombang) serta tidak terlihat adanya refleksi dari struktur.
- ✚ Teori Difraksi ( $d/L > 1.0$ )  
Bila ukuran struktur besar (sebanding dengan panjang gelombang), maka difraksi menjadi dominan. Untuk perhitungan gelombang berlaku teori Difraksi.

Persamaan Morison dikembangkan oleh Morison, O'Brien, Jhonson, dan Shaaf (1950) dalam menggambarkan kekuatan gelombang horizontal yang bekerja pada tiang vertikal, yang didirikan dari dasar laut terus ke permukaan bebas. Morison, et al. mengusulkan bahwa kekuatan yang dimiliki permukaan gelombang tak terputus-putus/terusmenerus pada sebuah tiang silinder

vertical yang didirikan dari dasar laut ke permukaan bebas adalah terdiri dari dua komponen, yaitu Inersia dan *Drag*.

### II.1.2. Persamaan Morison Untuk Vertical Cylinder

Dalam sebuah gelombang, kekuatan tarikan (gaya *drag*) dan kekuatan inersia (gaya inersia) muncul dan berubah-ubah terus menurut waktu. Morison et al. (1950) mengajukan rumus berikut ini untuk total kekuatan gelombang yang merupakan jumlah dari kekuatan tarikan dan inersia yang dikenal sebagai "Persamaan Morison".

$$df = df_D + df_i \quad (1)$$

$$df = CDAD|u|u + CmAi \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2)$$

Dimana :

f = kekuatan untuk setiap unit panjang pada silinder vertical

$$AD = \frac{1}{2} \rho D \quad (3)$$

$$Ai = \rho \frac{\pi}{4} D^2 \quad (4)$$

Persamaan 2. memberikan gaya/kekuatan untuk setiap unit panjang pada sebuah silinder vertikal. Jadi diasumsikan bahwa silinder didirikan vertical dari dasar laut sampai pada SWL, maka total kekuatan pada silinder diberikan oleh integral :

$$F = \int_0^d fdz \quad (5)$$

$$F = \int_0^d \left[ CDAD |u|u + Cm Ai \frac{\partial u}{\partial t} \right] dz \quad (6)$$

## II.2. Pondasi

Pada setiap bangunan sipil seperti gedung, jembatan, jalan raya, tanggul dan sebagainya harus memiliki pondasi yang dapat mendukungnya. Istilah pondasi digunakan dalam teknik sipil untuk mendefinisikan suatu konstruksi bangunan yang berfungsi sebagai penopang bangunan dan meneruskan beban bangunan di atasnya (*upper structure*) ke lapisan tanah yang cukup kuat daya dukungnya. Untuk itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan agar dapat menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban yang bekerja, gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain. Di samping itu, pada penurunan yang terjadi tidak boleh melebihi batas yang diijinkan.

Pondasi bangunan biasanya dibedakan atas dua bagian yaitu pondasi dangkal (*shallow foundation*) dan pondasi dalam (*deep foundation*), tergantung dari letak tanah kerasnya dan perbandingan ke dalaman dengan lebar pondasi. Pondasi dangkal ke dalamannya kurang atau sama dengan lebar pondasi ( $D \leq B$ ) dan dapat digunakan jika lapisan tanah kerasnya terletak dekat dengan permukaan tanah. Sedangkan pondasi dalam digunakan jika lapisan tanah keras berada jauh dari permukaan tanah.

Pondasi tiang digunakan untuk suatu bangunan yang tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan beban yang diterimanya atau apabila tanah pendukung yang mempunyai daya dukung yang cukup letaknya sangat dalam. Pondasi tiang ini berfungsi untuk menyalurkan beban-beban yang diterimanya dari konstruksi di atasnya ke lapisan tanah yang lebih dalam. Pondasi tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas, terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin, selain itu tiang-tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan dermaga, bangunan-bangunan offshore, dimana pada bangunan ini oleh gaya-gaya benturan kapal dan gaya gelombang.

### II.2.1. Daya Dukung Tiang Pancang

Kapasitas daya dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (*pile carrying capacity/ pile capacity*). Hitungan kapasitas dukung tiang dapat dilakukan dengan cara pendekatan *statis* dan *dinamis*. Hitungan kapasitas dukung tiang secara *statis* dilakukan menurut teori mekanika tanah, yaitu dengan mempelajari sifat-sifat teknis tanah, sedangkan hitungan dengan cara dinamis dilakukan dengan menganalisa kapasitas ultimate dengan data yang diperoleh dari data pemancangan tiang.

#### II.2.1.1 Daya Dukung Akibat Beban Lateral

a. Metode Meyerhof (1955)

Meyerhof memberikan solusi untuk pembebanan lateral pada tiang fleksibel dan kaku. Menurut metode Meyerhof, sebuah tiang dapat didefinisikan sebagai tiang fleksibel jika

$K_r = \text{relative stiffness of pile}$

$$= \frac{E_p I_p}{E_s L^4} < 0.01 \quad (7)$$

Dimana :

$E_s = \text{average horizontal soil modulus of elasticity}$

Beban lateral ultimate untuk pondasi pancang ditanah lempung dapat dicari dengan menggunakan rumus :

$$Q_{u(g)} = 0.4C_u K_{cr} DL \leq 0.4\rho_1 DL \quad (8)$$

Dimana :

$\rho_1 = \text{tegangan batas}$

$K_{cr} = \text{resultan koefisien tekanan tanah}$

Tegangan batas pada tanah lempung menggunakan rumus :

$\rho_1 = 6C_u$  (untuk *Menard pressuremeter*)

$\rho_1 = 8C_u$  (untuk *self-boring and full displacement pressuremeter*)

Moment bending maksimum pada tiang ( $Q_{u(g)}$ ) adalah

$$M_{max} = 0.22 Q_{u(g)} L \leq My \quad (9)$$

Momen maksimum untuk tiang fleksibel

$$M_{max} = 0.3K_{cr}{}^{0.2}Q_g L \leq 0.15 Q_g L \quad (10)$$

b. Metode Brooms (1946) untuk tiang dalam tanah kohesif

Tahanan tanah ultimate yang terletak pada tanah kohesif atau lempung ( $\phi=0$ ) bertambah dengan kedalamannya, yaitu dari  $2C_u$  dipermukaan tanah sampai  $8-12C_u$  pada kedalaman kira-kira 3 kali diameter tiang. Brooms(1964) mengusulkan cara pendekatan sederhana untuk mengestimasi distribusi tekanan tanah yang menahan tiang dalam lempung, yaitu tahanan tanah dianggap sama dengan nol di permukaan tanah sampai kedalaman  $1,5d$  (diameter tiang) dan konstan sebesar  $9C_u$  untuk kedalaman yang lebih besar dari  $1,5d$  tersebut.

Mekanisme keruntuhan tiang ujung jepit, diagram distribusi reaksi tanah dan momen terjadi secara pendekatan. Perubahan model keruntuhan akan sangat ditentukan oleh tahanan momen bahan tiang itu sendiri ( $M_y$ ). Pada tiang ujung jepit Brooms menganggap momen yang terjadi pada tubuh tiang yang tertanam di dalam tanah sama dengan momen yang terjadi di ujung atas tiang yang terjepit oleh pelat penutup tiang.

Dengan memperhatikan Gambar 2.8a. Untuk tiang pendek dapat dihitung tahanan tiang ultimate terhadap beban lateral:

$$H_u = 9C_u d (L - 3d/2) \quad (11)$$

$$M_{mak} = H_u (L/2 + 3d/4) \quad (12)$$

### II.3. Kriteria Tegangan Ijin

#### II.3.1. Tegangan Tarik Aksial

Tegangan tarik ijin  $F_t$  menurut API RP 2A (2002), untuk member silinder ditentukan dari:

$$F_t = 0.6F_y \quad (13)$$

Dimana :

$F_y$  = Tegangan leleh baja (Mpa)

#### II.3.2 Tegangan Tekan Aksial

Tegangan tekan ijin  $F_a$  menurut API RP 2A (2002), untuk member silinder ditentukan dari:

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right]}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} + \frac{(Kl/r)^2}{8C_c^2}} \text{ untuk } Kl/r < C_c \quad (14)$$

$$F_a = \frac{12 \pi^2 E}{23(Kl/r)^2} \text{ untuk } Kl/r \geq C_c \quad (15)$$

$$C_c = \left[\frac{12 \pi^2 E}{F_y}\right]^{1/2} \quad (16)$$

Dimana:

$C_c$  = Modulus Elastisitas

$E$  = Faktor Panjang Efektif

$L$  = Panjang tanpa bracing

$r$  = jari-jari girasi

### II.3.3. Tegangan Bending

Tegangan tekan ijin  $F_b$  menurut API RP 2A(2002), untuk member silinder ditentukan dari:

$$F_b = 0.75F_y \text{ untuk } \frac{D}{t} \leq \frac{1500}{F_y} \quad (17)$$

$$F_b = \left[0.84 - 1.74 \frac{F_y D}{Et}\right] F_y \text{ untuk } \frac{1500}{F_y} < \frac{D}{t} \leq \frac{3000}{F_y} \quad (18)$$

$$F_b = \left[0.72 - 0.58 \frac{F_y D}{Et}\right] F_y \text{ untuk } \frac{3000}{F_y} < \frac{D}{t} \leq 300$$

### II.4. Fatigue

Menurut standar ASTM [2], *Fatigue* didefinisikan sebagai proses perubahan structural permanen "*local progresif*" yang terjadi dalam sebuah material yang mengalami kondisi yang menghasilkan perubahan tegangan-tegangan dan regangan-regangan pada beberapa titik yang berpuncak pada retak atau patah total setelah suatu angka perubahan yang cukup.

Secara umum proses fatigue ditandai dengan tiga tahap yaitu :

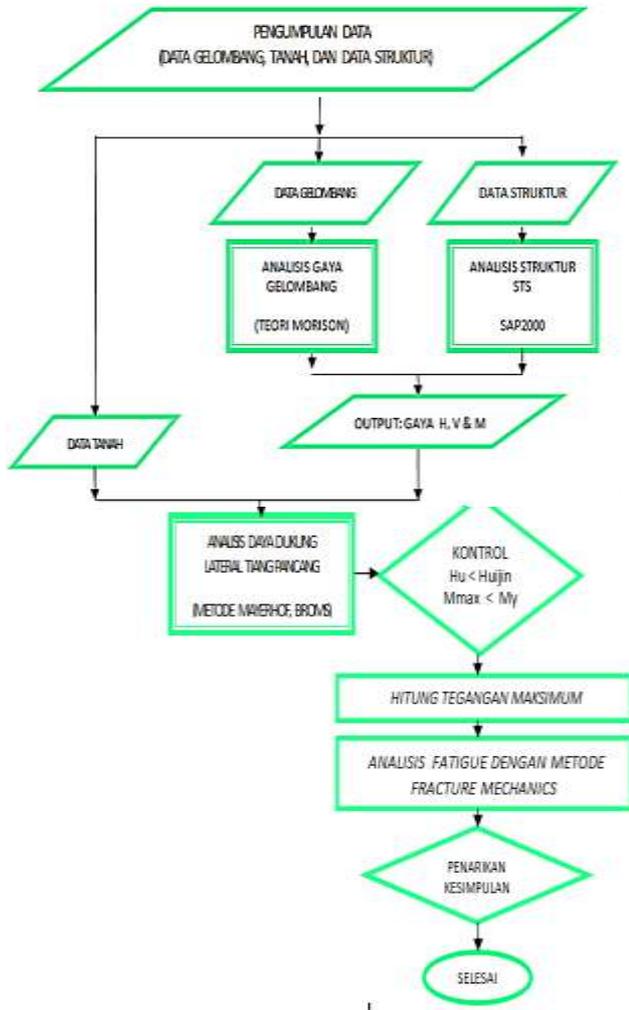
1. Retak Awal (*crack initiation*), dimana sebuah retak kecil terbentuk pada beberapa titik yang mengalami konsentrasi tegangan yang tinggi. Pada periode ini fatigue merupakan sebuah fenomena permukaan.
2. Perambatan Retak (*Crack Propagation*) .
3. Kegagalan akhir (*failure*), yang terjadi secara cepat ketika perkembangan retak mencapai ukuran yang kritis.

### II.5. Mekanika Retak (*Fracture Mechanics*)

*Fracture* (Perpatahan) adalah pemisahan atau pemecahan suatu benda padat menjadi dua bagian atau lebih akibat adanya tegangan. Mekanika retak (*fracture mechanics*) adalah studi dari respon dan kegagalan struktur sebagai akibat inisiasi dan perambatan retak atau suatu metode untuk menggambarkan karakter dari perilaku retak dalam parameter-parameter struktural seperti tegangan dan ukuran retak. Dengan *Fracture mechanics* yang sudah diketahui, berbahaya atau tidak karena dapat merambat sehingga terjadi perpatahan pada tingkat beban tertentu. Metode yang akan digunakan dalam studi kasus ini adalah metode *Linear Elastic Fracture Mechanics* (LEFM).

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Secara garis besar metode penelitian yang akan dilaksanakan seperti diagram alir di bawah ini:



Gambar 2. Flow Chart Metodologi

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV.1. Model Struktur Jacket Platform STS Type

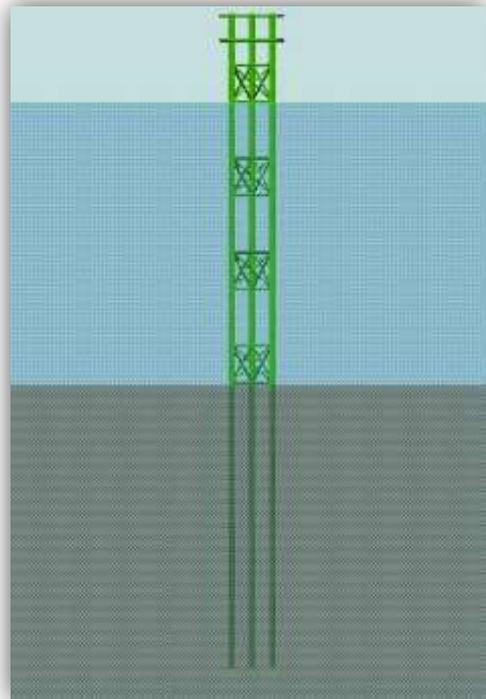
Analisis pembebanan pada Struktur *Jacket Platform Tipe STS* menggunakan program SAP2000 dengan menginput data profil yang digunakan dalam analisis struktur. dengan data profil *frame* sebagai berikut:

Tabel 1. Dimensi dan jenis profilmember struktur *jacket*

Keterangan	Profil Member
<i>Horizontal Brace</i>	OD : 0,3 m ; WT : 0,038 m
<i>Diagonal Brace</i>	OD : 0.3 m ; WT: 0,038 m
<i>Jacket Leg</i>	OD : 0,8 m ; WT : 0,038 m



Gambar 3. Struktur STS Platform

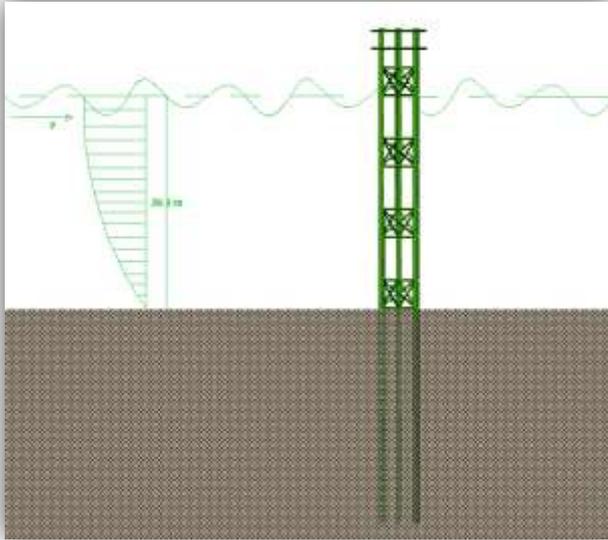


Gambar 4. Bentuk Jacket

#### IV.2. Beban Statis

Beban statis pada struktur berupa berat *deck/platform* dengan perhitungan bahwa struktur menerima beban *deck/platform* berupa gaya aksial (*z direction*) sebesar 13.47 ton. 4.49 ton yang disalurkan secara merata pada masing-masing kaki *jacket*.

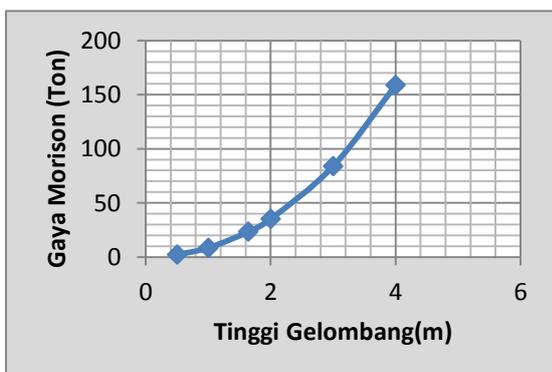
#### IV.3. Analisis Beban Gelombang



Gambar 5. Pemodelan Beban Gelombang

Tabel 2. Perhitungan Gaya Gelombang dengan Variasi Tinggi Gelombang

Hz (m)	Tz (s)	u m/s	du/dt m/s <sup>2</sup>	F (Ton)
0.5	7.9	1.496	0.065321	2.14212213
1	7.9	3.043	0.132848	8.43325879
1.642	7.9	5.106	0.222877	23.2667540
2	7.9	6.294	0.274744	35.1571212
3	7.9	9.762	0.426151	83.8526363
4	7.9	13.460	0.587551	158.705654



Gambar 6. Tinggi gelombang dan gaya Morison

Dari gambar 6 didapat bahwa semakin tinggi gelombang maka semakin besar gaya yang terjadi.

#### IV.4 PONDASI

##### IV.4.1. Daya Dukung Akibat Beban Lateral

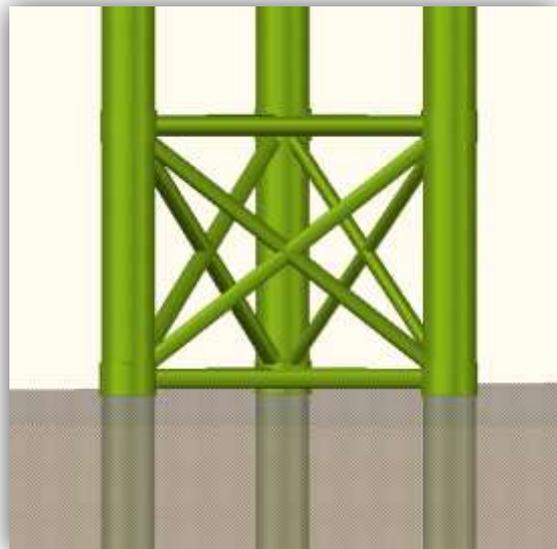
Kapasitas Daya Dukung Horizontal Tiang Pancang Akibat beban Lateral (Beban gelombang) dengan menggunakan Teori Broms didapat sebesar  $H_u = 1568$  KN dengan Teori Mayerhof sebesar  $H_u = 2731.1$  KN.

##### IV.4.2. Defleksi Tiang yang Mendukung Beban Lateral

Untuk menentukan besarnya defleksi tiang yang mendukung beban lateral maka akan digunakan teori Broms, sebagai berikut:

Berdasarkan nilai  $H_u$  (Beban Lateral akibat Gelombang dan berat sendiri struktur) sebesar 684.808 kN. Maka besarnya defleksi yang terjadi pada tiang yang mendukung beban lateral adalah sebesar 0.0307 m

##### IV.5. Analisis Fatigue Dengan Metode Fracture Mechanics

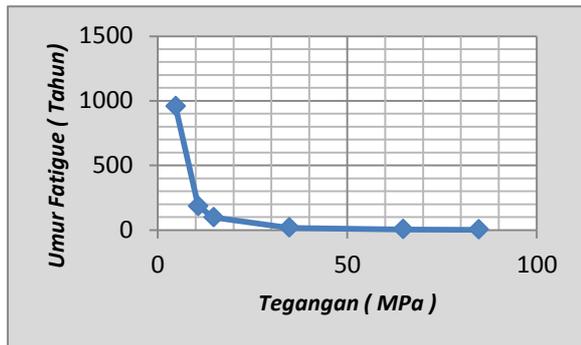


Gambar 7. Joint (sambungan antar tiang pancang)

Hasil perhitungan umur kelelahan struktur pada sambungan antar tiang pancang dengan metode *Fracture mechanics* untuk berbagai variasi tegangan disajikan dalam tabel berikut:

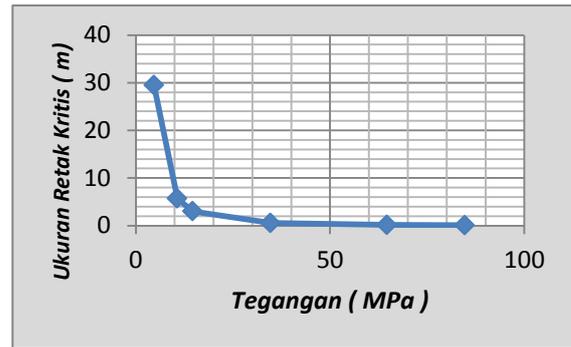
Tabel 3. Umur kelelahan struktur (*Fatigue Life*)

$\sigma$	$acr$	N	Gelombang 25 Tahun	Umur Kelelahan
Mpa	(m)	(Siklus)	(Siklus)	(Tahun)
4.689	29.48937	3819410238.55	99797468.35	956.7903629
10.689	5.674815	734878050.02	99797468.35	184.0923578
14.689	3.004979	389072808.69	99797468.35	97.46560086
34.689	0.538818	69648401.09	99797468.35	17.44743685
64.689	0.154941	19927821.06	99797468.35	4.992065778
84.689	0.090401	11568854.11	99797468.35	2.898083063



Gambar 8. Grafik hubungan antara Tegangan dan umur kelelahan

Dari gambar 8 didapat bahwa semakin besar tegangan yang terjadi, maka umur *Fatigue* semakin pendek.



Gambar 9. Grafik hubungan antara tegangan dan retak kritis

Dari gambar 9 didapat bahwa semakin besar tegangan yang terjadi, maka ukuran retak kritis semakin kecil.

## V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang dilakukan, maka didapatkan Umur kelelahan pada frame struktur khususnya pada sambungan antar tiang pancang akibat kegagalan *fatigue* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk perambatan retak dimulai dengan retak awal ( $a_0$ ) 0.5 mm sehingga mencapai retak kritis (terjadinya kegagalan/keruntuhan pada struktur). Dengan menganalisis gaya gelombang (teori morison) untuk tinggi gelombang ( $H$ ) = 1.642 m sebesar 23.26 ton, maka umur kelelahan (*fatigue life*) selama 97.465 tahun.

## DAFTAR PUSTAKA

- API (2000), *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms – Working Stress Design*, 21st Ed., American Petroleum Institute, Washington D.C.
- Balamba, S. Maxi, L (2000). "Respon Dinamik pada Anjungan Lepas Pantai dengan Menggunakan Model Auto Regresiffe Moving Average (ARMA), Domestic Collaborative Re search Grant–Proyek Penelitian Untuk Pengembangan Pascasarjana/URGE, Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi Depertemen Pendidikan Nasional.
- Bowles, Joseph E. (1997). *Foundation Analysis and Design*, McGraw-Hill, Singapura
- Broek D.B. (1986), *Elementary Engineering Fracture Mechanics*, 4th Ed., Luwer, Dordrecht.
- Das, Braja. M. (1999). *Principles Of Foundation Engineering*, Cole Publishing Company, California.
- Hadikusumah (2009), *Karakteristik Gelombang dan Arus di Eretan*, Indramayu, Makara Sains, VOL. 13, NO. 2, NOVEMBER 2009: 163-172.
- Hardiyatmo, HC., (2011), *Analisis dan Perancangan Fondasi II*, Gajah Mada University Press, Yogyakarta
- Quedarusman, George. (2012). "Analisa Kelelahan Struktur Pada Sambungan Antar Tiang Pancang Akibat Beban Horizontal". Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Nelwan, Koinonia. (2015). "Analisa Kelelahan Struktur Pada Tiang Pancang di dermaga Belang". Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Wigroho, Haryanto Y, (2001), *Analisis & Perancangan Sruktur Frame menggunakan SAP2000, Andi Offset, Yogyakarta.*