

Perbandingan Kurva S-N dalam Menentukan Umur Kelelahan Struktur

Arianta^{1*}, Frengki H. Pardede² dan Fransisko¹

Dikirim: 06/09/2021

Diterima: 17/09/2021

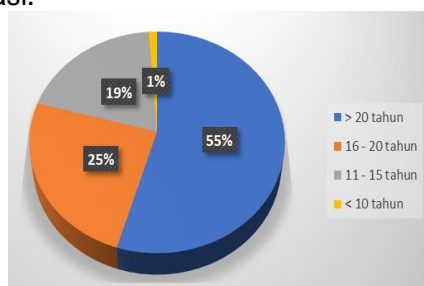
ABSTRAK

Struktur anjungan lepas pantai merupakan infrastruktur yang menyokong proses pengeboran minyak di lepas pantai. Sebagian besar struktur anjungan lepas pantai di Indonesia berdiri sejak tahun 1971. Faktor utama masih beroperasi anjungan lepas pantai adalah terkait dengan kebutuhan masyarakat akan minyak bumi. Oleh karena itu, perlu menjadi perhatian khusus agar struktur anjungan lepas pantai dapat beroperasi dengan aman. Analisis kelelahan (*fatigue*) struktur akan memberika estimasi umur kelelahan struktur, yang mana dapat dijadikan acuan dalam melakukan pencegahan terhadap kegagalan struktur. American Petroleum Institute (API) mengeluarkan dua jenis kurva S-N dalam penentuan umur kelelahan struktur yaitu API X-X' dan WJT (*Welded Joint*). Kurva S-N WJT merupakan kruva S-N baru yang dikeluarkan oleh API pada tahun 2014. Dengan adanya kurva S-N terbaru, untuk struktur anjungan lepas pantai tua (sejak tahun 1973) yang masih beroperasi sampai saat ini diperlukan penyesuaian dalam menentukan umur kelelahan. Penelitian ini akan membandingkan analisis kelelahan menggunakan kedua grafik tersebut. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kurva S-N WJ menghasilkan umur kelelahan yang lebih kecil dibandingkan dengan kurva S-N API X. Secara persentase rentang perbedaannya adalah 11%-79%, hal ini bergantung pada lokasi dan elevasi komponen struktur.

Kata kunci: *fatigue*, kurva S-N, struktur anjungan lepas pantai, umur kelelahan

1. PENDAHULUAN

Struktur anjungan lepas pantai sebagai pendukung teknologi eksploitasi minyak dan gas bumi sudah berdiri di Indonesia sejak tahun 1971 dan tipe anjungan lepas pantai yang digunakan adalah *fixed jacket platform* [1]. Berdasarkan data SKK Migas tahun 2016 [2], sebanyak 613 anjungan lepas pantai yang terpasang dan tersebar di Laut Jawa, Selat Madura dan Selat Makasar. Diketahui bahwa terdapat 55% atau 335 unit anjungan lepas pantai yang mempunyai umur lebih dari 20 tahun dan masih dapat beroperasi. Gambar 1 menunjukkan data umur struktur anjungan lepas pantai yang masih beroperasi.



Gambar 1. Data Umur Struktur Anjungan Lepas Pantai yang Beroperasi [2]

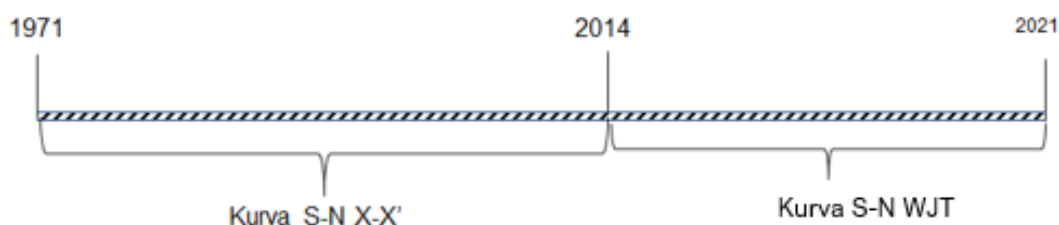
¹ Universitas Pertamina, Jl. Teuku Nyak Arief, Jakarta 12220

² PT. Singgar Mulia, Jl. Pakubuwono VI No.31, Jakarta Selatan 12120

*arianta1@universitaspertamina.ac.id

Struktur anjungan lepas pantai pada umumnya didesain selama 20 tahun atau sesuai dengan target produksi [3]. Namun pada kenyataannya struktur anjungan lepas pantai masih kuat beroperasi melebihi dari 20 tahun. Pada saat pengoperasiannya sering sekali terjadi penambahan modul untuk menambah produksi minyak atau gas bumi. Sebelum dilakukan penambahan modul, perlu dilakukan penilaian ulang kekuatan struktur. Apakah struktur masih kuat dan aman menahan beban tambahan atau diperlukan suatu modifikasi.

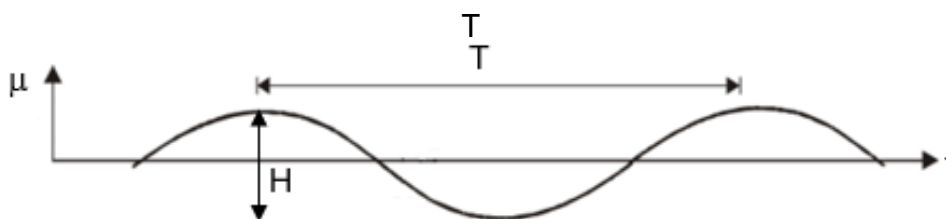
Salah satu analisis yang perlu dilakukan untuk menilai kekuatan struktur adalah analisa kelelahan (*fatigue*). Analisa ini menggunakan kurva hubungan antara tegangan (*stress*) dengan siklus (*cycle*), kurva S-N, yang kemudian dapat ditentukan umur kelelahan dari struktur. Standar API RP 2A merupakan acuan dasar dalam melakukan desain struktur anjungan lepas pantai. Pada tahun 2014 API RP 2A mengeluarkan kurva S-N baru yang dinamakan kurva S-N WJT (*Welded Joints*), sebelumnya adalah kurva S-N X-X' [4]. Dengan keluarnya kurva S-N WJT menjadikan ada perbedaan evaluasi terhadap umur kelelahan terutama untuk struktur anjungan lepas pantai yang sudah terpasang sejak tahun 1970 an. Hal ini terjadi pada saat melakukan penilaian kekuatan struktur apabila anjungan lepas pantai lama (berdiri sejak tahun 1970 an) masih beroperasi sampai melewati tahun 2014. Gambar 2 berikut menunjukkan batasan penggunaan kurva S-N, sehingga diperlukan evaluasi kekuatan struktur dengan dua kurva S-N.



Gambar 2. Batasan Penggunaan Kurva S-N

2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisis kelelahan atau *fatigue* merupakan elemen penting dalam desain dan penilaian kekuatan struktur anjungan lepas pantai. Keluaran dari analisis kelelahan ini adalah estimasi umur layan atau umur kelelahan dari struktur. Faktor yang mempengaruhi penentuan umur kelelahan adalah beban yang berulang atau siklik. Pada kasus struktur anjungan lepas pantai beban siklik yang berlaku adalah gaya gelombang laut. Bentuk ideal gelombang laut mengikuti bentuk sinusoidal, yang mana memiliki puncak dan lembah gelombang dalam satu perioda. Gambar 3 memperlihatkan bentuk ideal gaya gelombang laut.



Gambar 3. Gelombang Laut [4]

Dimana H adalah tinggi gelombang laut, T adalah perioda gelombang laut, t adalah waktu, dan μ adalah elevasi muka air. Gelombang laut akan memberikan repon struktur yang berbeda-beda dalam kurun waktu tertentu. Sehingga struktur akan menghasilkan nilai tegangan yang bervariasi. Dalam penentuan umur kelelahan dari nilai tegangan yang bervariasi diperlukan suatu kurva hubungan tegangan dengan siklus, yang disebut dengan kurva S-N. Pada berbagai penelitian terdahulu penggunaan kurva S-N mengacu pada standar yang sering digunakan dalam desain struktur anjungan lepas pantai. Paulo et al [5] dan Antonio [6] menggunakan kurva

S-N dari standar DNV [7] untuk menentukan umur kelelahan. Rohith dan Jayalekshmi [8] melakukan analisis kelelahan menggunakan kurva S-N dari standar API-WJT [3], dengan membuat perbandingan antara metode analisis gelombang laut deterministik dan spektral. Dalam penelitian lainnya, Khalifa et al [9] melakukan penilaian kelelahan pada struktur anjungan lepas pantai di daerah Egypt menggunakan kurva S-N dari standar API-X' [10]. Kurva S-N sebagai penentuan umur kelelahan dapat diambil dari berbagai standar yang sesuai dengan posisi lokasi yang diteliti. Struktur anjungan lepas pantai di Indonesia mengacu kepada standar API untuk melakukan desain dan penilaian kekuatan strukturnya. Standar API edisi terakhir telah mengeluarkan kurva S-N baru (WJT) [3], yang cukup berbeda dengan kurva S-N lama (X-X'). Pada penelitian ini dilakukan kajian perbandingan kurva S-N dari standari API yaitu kurva S-N X-X' dengan kurva S-N WJT.

Kurva S-N X-X' merupakan kurva S-N pertama yang digunakan untuk menentukan umur kelelahan berdasarkan standar API [10]. Kurva ini berlaku untuk beban acak dan menganggap bahwa proteksi katodik untuk mencegah korosi bekerja dengan efektif. Untuk zona basah-kering (*splash zone*) diasumsikan terbebas dari korosi atau tidak mempertimbangkan kondisi korosi yang berlebihan, dan disarankan tidak ada sambungan antar komponen struktur. Kurva S-N X-X' terdiri dari Kurva X' dan X. Kurva S-N X' digunakan pada kasus pengelasan tanpa kontrol profil, namun memenuhi dengan standar AWS D.1.1 [11] dan memiliki ketebalan komponen struktur kurang dari 0,625 inci (16 mm). Sedangkan kurva S-N X berlaku untuk kondisi pengelasan dengan kontrol profil dan memiliki ketebalan komponen struktur kurang dari 1 inci (25 mm) dan lebih besar dari 16 mm. Persamaan 2 merupakan pembentuk kurva S-N X-X'

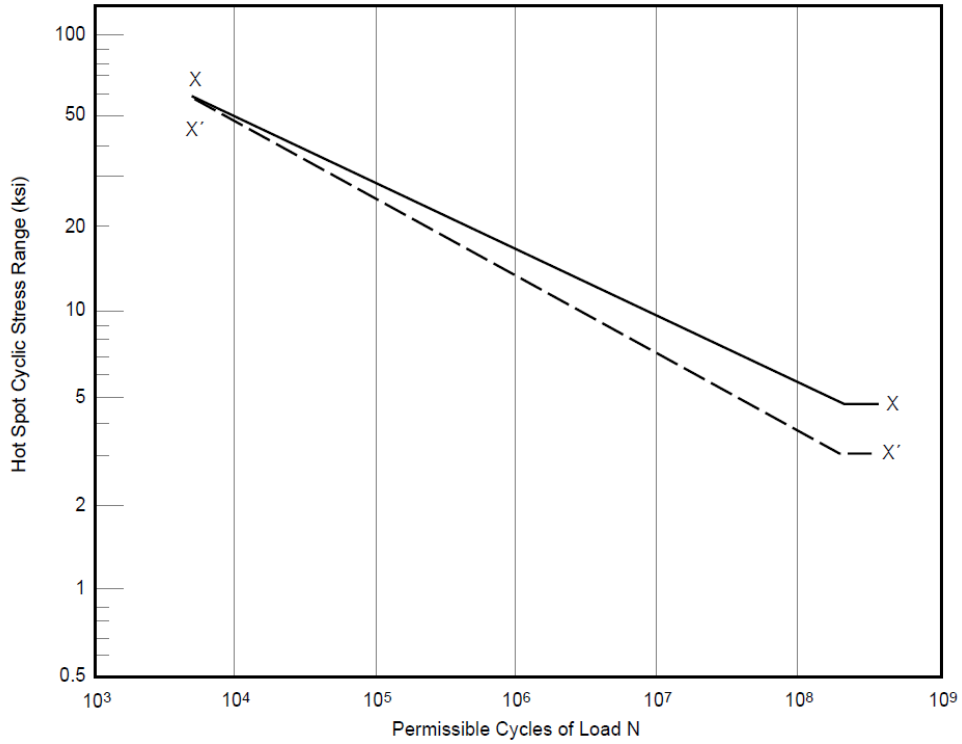
$$N = 2 \times 10^6 \left(\frac{\Delta \sigma}{\Delta \sigma_{ref}} \right)^{-m} \quad (1)$$

dimana nilai N adalah prediksi jumlah siklus kegagalan komponen struktur dalam rentang tegangan ($\Delta \sigma$), $\Delta \sigma_{ref}$ adalah rentang tegangan referensi sesuai kurva S-N yang digunakan, dan m adalah kemiringan kurva. Tabel 1 merupakan nilai parameter $\Delta \sigma_{ref}$, dan m ditentukan sesuai dengan tipe kurva yang akan digunakan. Kurva S-N X-X' ditunjukkan pada gambar 4.

Tabel 1. Nilai parameter kurva S-N X-X'

Kurva	$\Delta \sigma_{ref}$	m	Batas Tahanan pada siklus 200 juta
X	14,5 ksi (100 MPa)	4,38	5,07 ksi (35 MPa)
X'	11,4 ksi (79 MPa)	3,74	3,33 ksi (23 MPa)

Kurva S-N WJT merupakan kurva S-N terbaru yang dikeluarkan oleh API pada tahun 2014. Pada kurva S-N ini sudah mempertimbangkan faktor korosi pada zona basah-kering dan komponen struktur yang menggunakan proteksi katodik di area bawah air. Hal ini dapat dilihat pada gambar 5, yang mana terdapat dua kurva S-N yang disesuaikan dengan lokasi komponen struktur yang ditinjau. Untuk kurva S-N *Air* berlaku untuk komponen struktur pada area basah-kering dan area kering. Sedangkan kurva S-N *cathodic protection* untuk komponen struktur yang menggunakan proteksi katodik sebagai pencegahan korosi. Pada area basah-kering diperbolehkan adanya sambungan antar komponen struktur. Desain kurva S-N WJT dapat diperoleh dengan persamaan 3 berikut.



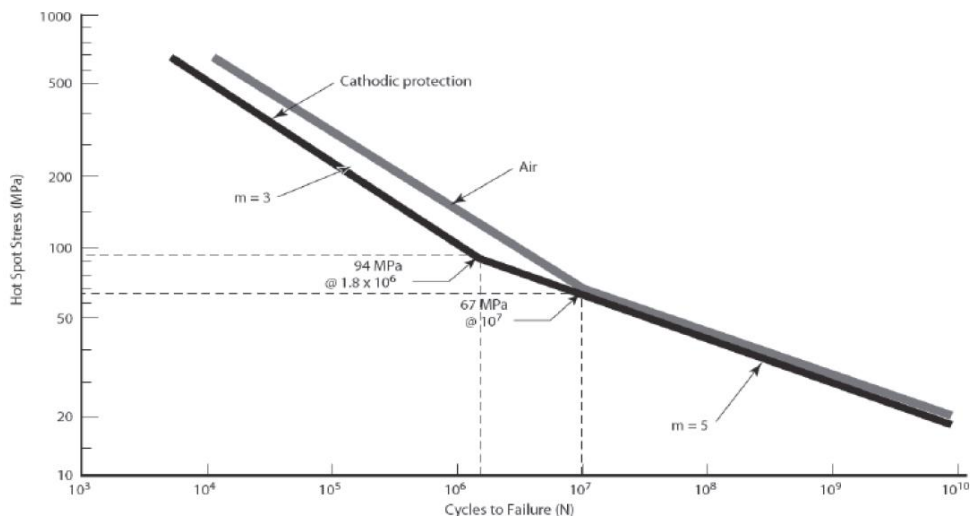
Gambar 4. Kurva S-N X-X' [10]

$$\log_{10}(N) = \log_{10}(k_1) - m \log_{10}(S) \tag{2}$$

dimana N adalah estimasi angka siklus kegagalan struktur dari rentang tegangan (S), dan k1 adalah suatu konstanta. Nilai parameter log₁₀(k₁) dan m disajikan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Nilai Parameter Kurva S-N WJT

Kurva	log ₁₀ (k ₁) (MPa)	m
WJT	12,48	3 untuk N < 10 ⁷
	16,13	5 untuk N > 10 ⁷



Gambar 5. Kurva S-N WJT [3]

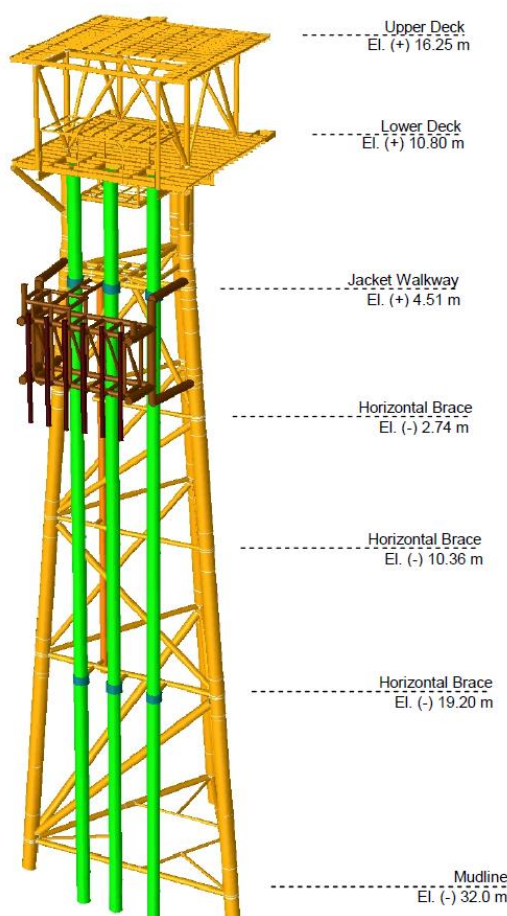
Respon komponen struktur dari gaya gelombang laut menghasilkan variasi nilai tegangan yang terjadi. Dengan menggunakan kurva S-N, ditentukan nilai siklus kegagalan (N) dari variasi nilai tegangan. Kemudian nilai siklus kegagalan digunakan untuk menentukan nilai total kerusakan pada persamaan 3.

$$D = \sum_{i=1}^m \frac{n_i}{N_i} = \frac{n_1}{N_1} + \frac{n_2}{N_2} + \frac{n_3}{N_3} + \dots + \frac{n_m}{N_m} \quad (3)$$

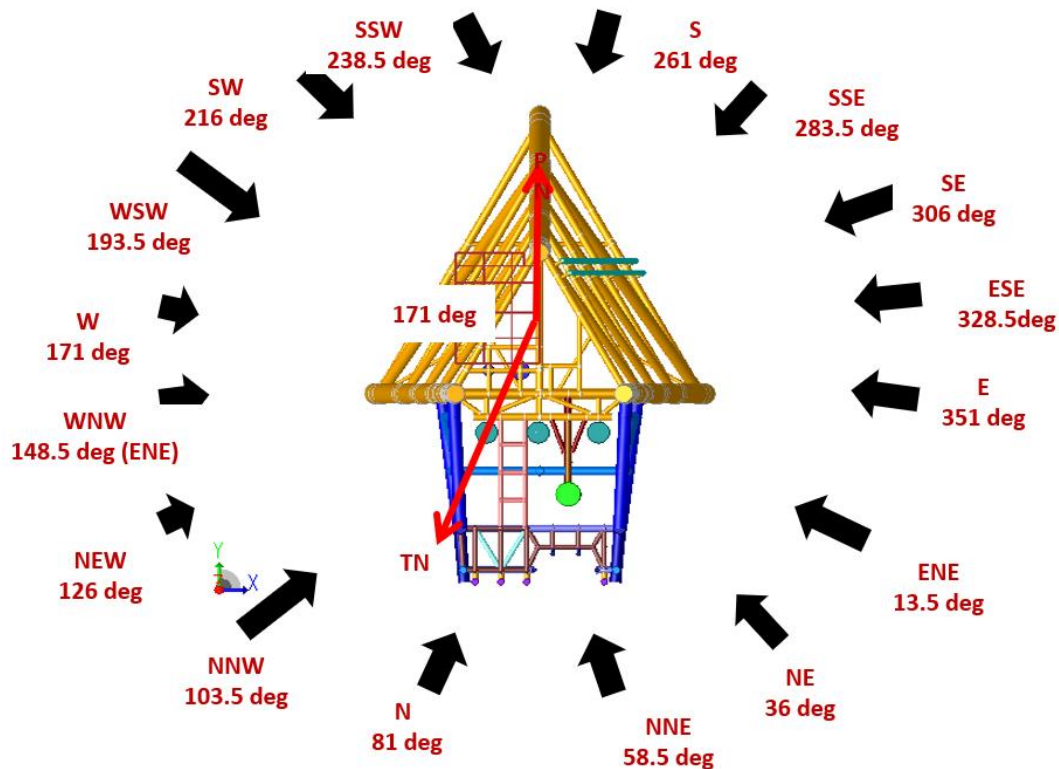
dengan n_i = jumlah siklus yang terjadi pada rentang tegangan tertentu, dan N_i = jumlah siklus pada rentangan tegangan yang dihasilkan dari kurva S-N.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Struktur anjungan lepas pantai pada kasus ini berdiri pada tahun 1973 dan dilakukan penambahan masa layan sampai dengan tahun 2022. Oleh karena itu, dalam penentuan umur kelelahan digunakan dua kurva S-N sesuai dengan gambar 2. Struktur anjungan lepas pantai yang ditinjau mempunyai 3 kaki, 3 pipa konduktor dan terpasang pada kedalaman 32 m di bawah permukaan laut. Terdapat 2 tingkatan *deck* yaitu *lower deck* pada elevasi +10,80 m dan *upper deck* pada elevasi +16,25 m, diperlihatkan pada gambar 6. Selama masa operasi, struktur anjungan lepas pantai ini menerima beban berulang yang bersumber dari gelombang laut, arus laut dan angin. Untuk analisis kelelahan beban berulang yang digunakan adalah gelombang laut dari 16 arah mata angin, gambar 7.



Gambar 6. Model struktur anjungan lepas pantai 3 kaki



Gambar 7. Tinjauan 16 arah gelombang laut

Metode analisis kelelahan yang digunakan adalah metode spektral. Metode spektral menggunakan pendekatan statistik untuk menghitung total kerusakan yang terjadi pada struktur. Pendekatan yang dilakukan dengan memanfaatkan spektrum gelombang laut dan fungsi transfer, sehingga akan didapatkan respon struktur dari tinggi gelombang laut tertentu [8]. Hal yang terpenting dalam metode ini ialah penentuan fungsi transfer rentang tegangan, yang menjelaskan hubungan antara besar tegangan pada lokasi struktur tertentu yang berhubungan dengan ketinggian, frekuensi dan besar sudut gelombang laut. Pada penelitian ini meninjau tiga skenario analisis kelelahan sebagai berikut.

1. Skenario pertama yaitu menghitung total kerusakan menggunakan kurva S-N X dari tahun 1973 sampai dengan tahun 2022.
2. Skenario kedua yaitu menghitung total kerusakan menggunakan dua kurva S-N, yakni kurva S-N X untuk menghitung total damage struktur dari tahun 1973 hingga 2014 dan penggunaan kurva S-N WJ dari tahun 2014 hingga 2022.
3. Skenario ketiga yaitu menggunakan total kerusakan menggunakan kurva S-N WJ untuk menghitung total kerusakan struktur mulai dari tahun 1973 hingga 2022.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kelelahan dilakukan dengan menggunakan alat bantu perangkat lunak SACS untuk mendapatkan nilai total kerusakan dan umur kelelahan struktur. Perhitungan umur kelelahan pada sambungan, terhitung mulai dari tahun instalasi anjungan lepas pantai yakni pada tahun 1973. Apabila nilai perhitungan umur kelelahan (t_{fat}) melebihi nilai minimum umur kelelahan (t_{req}), maka sambungan tersebut memenuhi umur desain operasional (*passed*) atau dengan kata lain sambungan tersebut dapat menahan beban dinamis selama masa operasionalnya. Sebaliknya apabila nilai t_{fat} dibawah nilai t_{req} , maka sambungan tidak memenuhi umur rencana (*not passed*). Tabel 3 sampai tabel 5 memperlihatkan hasil analisis kelelahan pada setiap sambungan utama berdasarkan skenario yang dilakukan.

Tabel 3. Skenario 1 menggunakan kurva S-N X

No	Elevasi (m)	Nomer Sambungan	Tipe Sambungan	Total Kerusakan	t _{fat} (tahun)	t _{req} (tahun)	Keterangan
1	4,51	5000	K	16,107	3,04	98	tidak memenuhi
2	4,51	5013	K	1,141	42,93	98	tidak memenuhi
3	4,51	5014	K	0,450	108,90	98	memenuhi
4	4,51	5015	T	0,623	78,71	98	tidak memenuhi
5	4,51	501L	T	0,006	7696,54	98	memenuhi
6	4,51	502L	T	0,014	3484,79	98	memenuhi
7	4,51	503L	K	0,065	752,54	98	memenuhi
8	-2,74	401L	K	1,038	47,21	98	tidak memenuhi
9	-2,74	402L	TK	0,249	197,05	98	memenuhi
10	-2,74	403L	K	0,111	443,01	98	memenuhi
11	-10,36	301L	TK	0,083	593,03	98	memenuhi
12	-10,36	302L	K	0,076	644,69	98	memenuhi
13	-10,36	303L	K	0,077	637,96	98	memenuhi
14	-19,2	201L	T	0,719	68,17	98	tidak memenuhi
15	-19,2	202L	TK	1,110	44,16	98	tidak memenuhi
16	-19,2	203L	K	0,073	667,61	98	memenuhi
17	-30,5	101L	K	0,029	1710,31	98	memenuhi
18	-30,5	102L	T	0,163	300,06	98	memenuhi
19	-30,5	103L	Y	0,002	22710,00	98	memenuhi

Tabel 4. Skenario 2 menggunakan kurva S-N X dan kurva S-N WJT

No	Elevasi (m)	Nomer Sambungan	Tipe Sambungan	Total Kerusakan	t _{fat} (tahun)	t _{req} (tahun)	Keterangan
1	4,51	5000	K	10,757	4,56	98	tidak memenuhi
2	4,51	5013	K	0,894	54,79	98	tidak memenuhi
3	4,51	5014	K	0,367	133,49	98	memenuhi
4	4,51	5015	T	0,508	96,53	98	tidak memenuhi
5	4,51	501L	T	0,008	6317,36	98	memenuhi
6	4,51	502L	T	0,015	3326,07	98	memenuhi
7	4,51	503L	K	0,055	887,24	98	memenuhi
8	-2,74	401L	K	0,822	59,61	98	tidak memenuhi
9	-2,74	402L	TK	0,203	241,50	98	memenuhi
10	-2,74	403L	K	0,099	494,48	98	memenuhi
11	-10,36	301L	TK	0,087	562,47	98	memenuhi
12	-10,36	302L	K	0,071	687,63	98	memenuhi
13	-10,36	303L	K	0,073	672,34	98	memenuhi
14	-19,2	201L	T	0,631	77,66	98	tidak memenuhi
15	-19,2	202L	TK	0,985	49,74	98	tidak memenuhi
16	-19,2	203L	K	0,072	684,96	98	memenuhi
17	-30,5	101L	K	0,034	1452,22	98	memenuhi
18	-30,5	102L	T	0,140	349,64	98	memenuhi
19	-30,5	103L	Y	0,003	16298,56	98	memenuhi

Tabel 5. Skenario 3 menggunakan kurva S-N WJT

No	Elevasi (m)	Nomer Sambungan	Tipe Sambungan	Total Kerusakan	t_{fat} (tahun)	t_{req} (tahun)	Keterangan
1	4,51	5000	K	10,822	4,528	98	tidak memenuhi
2	4,51	5013	K	1,282	38,231	98	tidak memenuhi
3	4,51	5014	K	0,622	78,740	98	tidak memenuhi
4	4,51	5015	T	0,810	60,530	98	tidak memenuhi
5	4,51	501L	T	0,029	1666,956	98	memenuhi
6	4,51	502L	T	0,044	1109,994	98	memenuhi
7	4,51	503L	K	0,147	334,204	98	memenuhi
8	-2,74	401L	K	1,366	35,872	98	tidak memenuhi
9	-2,74	402L	TK	0,343	142,956	98	memenuhi
10	-2,74	403L	K	0,198	247,020	98	memenuhi
11	-10,36	301L	TK	0,226	217,263	98	memenuhi
12	-10,36	302L	K	0,153	321,052	98	memenuhi
13	-10,36	303L	K	0,153	319,627	98	memenuhi
14	-19,2	201L	T	0,962	50,943	98	tidak memenuhi
15	-19,2	202L	TK	1,438	34,072	98	tidak memenuhi
16	-19,2	203L	K	0,151	324,097	98	memenuhi
17	-30,5	101L	K	0,097	506,218	98	memenuhi
18	-30,5	102L	T	0,237	206,476	98	memenuhi
19	-30,5	103L	Y	0,010	4780,908	98	memenuhi

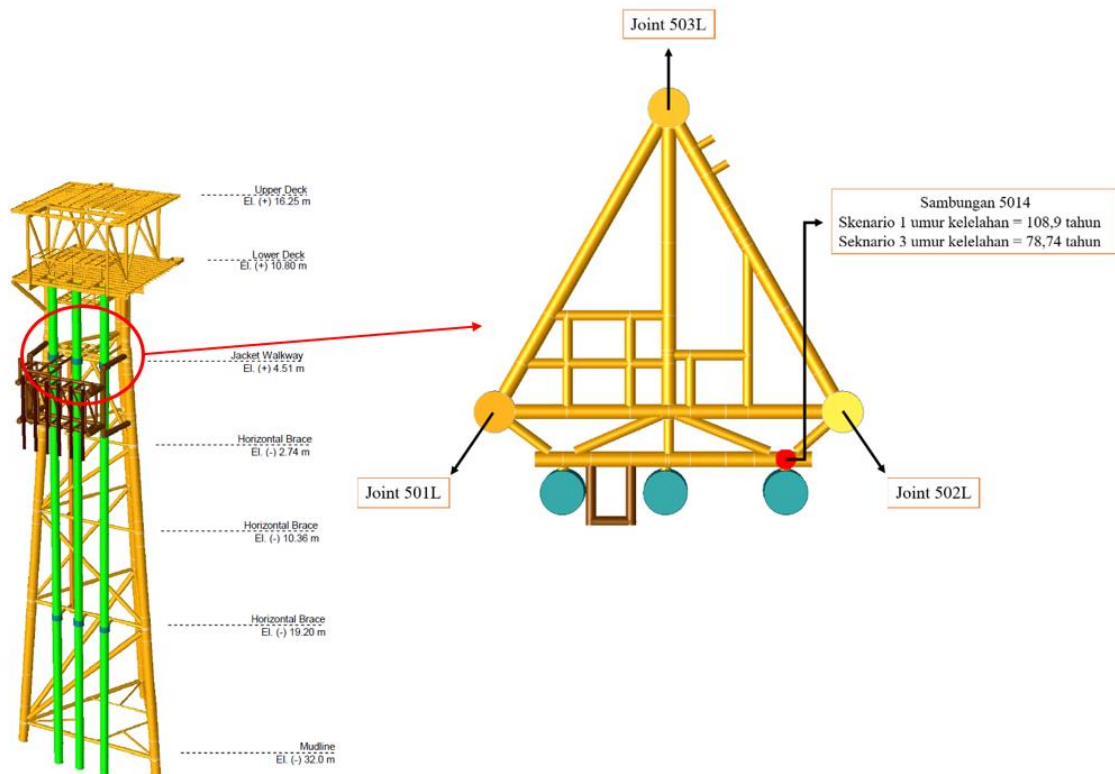
Dari hasil analisis kelelahan terhadap 19 sambungan utama terdapat beberapa joint utama yang tidak memenuhi nilai umum minimum kelelahan (t_{req}). Jumlah sambungan yang memenuhi dan tidak memenuhi pada masing-masing skenario dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Jumlah sambungan yang memenuhi dan tidak memenuhi

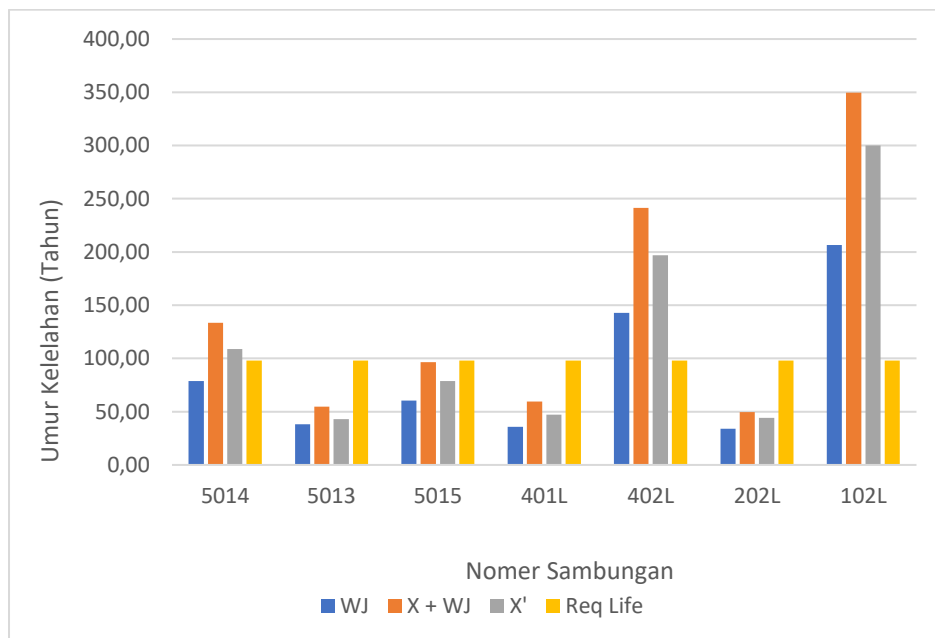
Skenario	Total Sambungan	Total Memenuhi	Total Tidak Memenuhi	Persentase tidak memenuhi
1 (Kurva S-N X')	19	13	6	32%
2 (Kurva S-N X' dan WJT)	19	13	6	32%
3 (Kurva WJT)	19	12	7	37%

Dari tabel 6 terlihat nilai persentase tidak memenuhi untuk skenario 1 dan 2 memiliki persentase yang sama yaitu 36%. Nomer sambungan yang tidak memenuhi pun mempunyai lokasi yang serupa, hal ini dapat disebabkan durasi waktu yang menggunakan kurva S-N X lebih lama yaitu 41 tahun (1973 – 2014) dibandingkan kurva S-N WJ yaitu 8 tahun (2014 – 2022). Jika dibandingkan antara skenario 1 dan skenario 3, kurva S-N WJ lebih banyak yang tidak memenuhi dengan nilai 37%. Terdapat 1 sambungan yang memiliki perbedaan hasilnya yaitu pada nomer sambungan 5014. Gambar 8 memperlihatkan lokasi nomer sambungan 5014.

Gambar 8 menunjukkan lokasi sambungan 5014 yang berada di elevasi +4,51 m di atas permukaan laut, yang mana masuk pada zona basah-kering. Pada lokasi tersebut digunakan kurva S-N WJT Air (gambar 5), sehingga dapat menghasilkan nilai kerusakan yang lebih besar dibandingkan dengan Kurva S-N X. Hal tersebut dapat terjadi pada rentang tegangan sekitar 53 MPa sampai 74 MPa. Sehingga nilai umur kelelahan sambungan akan lebih kecil pada kurva S-N WJT. Perbandingan kurva S-N pada beberapa nomer sambungan dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 8. Sambungan nomor 5014



Gambar 9. Perbandingan hasil umur kelelahan

Pada gambar 9 dapat dilihat bahwa kecenderungan grafik memiliki pola yang sama pada setiap nomer sambungannya. Kombinasi kurva S-N WJT dan kurva S-N X menghasilkan umur kelelahan paling besar dibandingkan dengan penggunaan kurva S-N tersendiri. Sedangkan kurva S-N WJT menghasilkan umur kelelahan paling kecil dibandingkan dengan kurva S-N X dan kombinasi. Perbedaan hasil umur kelelahan secara persentase adalah 11-31% antara kurva S-N

WJT terhadap kurva S-N X. Nilai persentase perbedaan tersebut bergantung pada lokasi dan elevasi sambungan.

5. KESIMPULAN

Struktur anjungan lepas pantai lama yang dibangun sejak tahun 1973 dan masih dinilai layak untuk beroperasi sampai saat ini, perlu dilakukan kajian terhadap umur kelelahan struktur. Standar API pada tahun 2014 memiliki kurva S-N yang baru dinamakan kurva S-N WJT, sedangkan yang sebelum itu terdapat kurva S-N X. Struktur anjungan lepas pantai lama memerlukan penggunaan 2 kurva S-N sebagai penentuan umur kelelahan struktur. Dalam studi ini dikaji penentuan kurva S-N apabila menggunakan kurva S-N X, Kombinasi kurva S-N X dan WJT, dan kurva S-N WJT.

Berdasarkan hasil analisis kelelahan kurva S-N WJT menghasilkan umur kelelahan yang kecil dibandingkan dengan kurva S-N X. Perbedaan umur kelelahan sambungan bergantung pada lokasi dan kedalaman. Perbedaan pada elevasi (+) 4,51 m bernilai 11% sampai 68%, perbedaan pada elevasi (-) 2,74 m bernilai 24% sampai 44%, perbedaan pada elevasi (-) 10,36 m bernilai 50% sampai 63%, perbedaan pada elevasi (-) 19,2 m bernilai 23% sampai 51%, dan perbedaan pada elevasi (-) 30,5 m bernilai 31% sampai 79%. Rentang perbedaan hasil tersebut yang cukup besar, dikarenakan terdapatnya perbedaan pada kemiringan kurva. Kurva S-N WJT sudah mempertimbangkan pengaruh korosi pada zona basah-kering dan bawah air, faktor ini yang dapat menjadikan hasil umur kelelahan lebih kecil daripada yang dihasilkan dari kurva S-N X.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] E. d. G. A. Arianti, "Teknologi Decommissioning Anjungan Lepas Pantai Terpancang Pasca-Operasi," *Jurnal Inovtek Polbeng*, Vol. 9, No.2, November, p. 8, 2019.
- [2] A. Riyanto, "The Challenges of Oil and Gas Platform Decommissioning in Indonesia," dalam *The 3rd Indo Decomm in Oil and Gas Conference*, Jakarta, 2016.
- [3] A. R. P. 2A-WSD, *Planning, Designing, and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Desing 22nd Edition*, Washington: American Petroleum Institute, 2014.
- [4] V. Sundar, *Ocean Wave Mechanics-Application in Marine Structure*, India: John Wiley & Sons Ltd, 2016.
- [5] Paulo et al, "Fatigue Assessments of a Jacket-Type Offshore Structure Baseon Static and Dynamic Analyses," *ASCE*, vol. 26, no. 1, 2020.
- [6] Moura A, *Tesis-Fatigue Analysis of a Jacket-Type Offshore Platform Based On Local Approaches*, Universitas Porto, 2018.
- [7] DNVGL, *Fatigue Design of Offshore Structure*, Norway: DNVGL, 2016.
- [8] R. T. d. J. R, "Deterministic and Spectral Fatigue Analysis of Tubular Joints of a Jacket Platform," *International Journal of Scientific & Engineering Research*, vol. 8, no. 11, p. 149, 2017.
- [9] Khalifa et al, "Fatigue Assessment Analysis of Offshore Structures with Application to an Existing Platform in Suez Gulf, Egypt," *World Applied Sciences Journal*, vol. 30, no. 8, pp. 1000-1019, 2014.
- [10] A. R. P. 2A-WSD, *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms-Working Stress Desing*, Washington: American Petroleum Institute, 2002.
- [11] AWS D1.1, *Structural Welding Code-Steel*, Miami: American National Standards Institute, 2000.