

Analisis Hotspot Stress Pada Sambungan Tubular Brace T Dengan Simulasi Pembebanan Tarik Pada Struktur Bangunan Lepas Pantai Tipe Jacket Platform.

Anwar*, Rudi Siswanto

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Lambung Mangkurat, Jalan Achmad Yani Km 35,4 Kota Banjarbaru Kalimantan Selatan 70714, Indonesia.

*email of corresponding author: Anwar.ft@ulm.ac.id

Abstract

Jacket platform type offshore building structures are buildings that are often used for oil and gas exploitation activities, environmental loads such as wave loads that occur continuously can cause offshore building structures to experience fatigue. Tubular joints are areas that often experience fatigue or cracking caused by the concentration of stress that occurs in tubular joints. This study was conducted to determine and calculate the largest voltage point that occurs in the tubular connection for the T brace model and calculate the fatigue age that occurs in the joint. The K1 value is calculated by variations in crack depth, ranging from 1 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm and the maximum thickness of the chord which is 25 mm. The results showed that hot spot stress occurred in the element in the joint welding area with a working stress value of 1577.3 Mpa, the maximum SIFS (K1) value that occurred was 648.28 Mpa with crack depth modeling of 25 mm and the value for the calculation of N integration was 12704.87

Abstrak

Struktur bangunan lepas pantai tipe jacket platform merupakan bangunan yang sering digunakan untuk kegiatan eksploitasi minyak dan gas, beban lingkungan seperti beban gelombang yang terjadi secara terus menerus dapat menyebabkan struktur bangunan lepas pantai mengalami kelelahan. Sambungan tubular adalah daerah yang sering mengalami kelelahan atau retak yang disebabkan adanya konsentrasi tegangan yang terjadi pada sambungan tubular. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui dan menghitung titik tegangan terbesar yang terjadi pada sambungan tubular untuk model brace T serta menghitung umur kelelahan yang terjadi pada sambungan. Nilai K1 dihitung dengan variasi kedalaman retak yaitu mulai dari 1 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm dan ketebalan maksimum chord yaitu 25 mm. Hasil penelitian menunjukkan hot spot stress terjadi pada elemen didaerah pengelasan sambungan dengan nilai tegangan yang bekerja sebesar 1577.3 Mpa, Nilai SIFS (K1) maksimum yang terjadi adalah sebesar 648.28 Mpa dengan pemodelan kedalaman crack 25 mm dan nilai untuk perhitungan integrasi N sebesar 12704.87.

Pendahuluan

Jacket platform merupakan bangunan lepas pantai yang umum digunakan untuk kegiatan eksploitasi minyak dan gas dari reservoir hidrokarbon yang berada di lepas pantai pada daerah perairan dangkal, dimana struktur utamanya terdiri dari tubular member yang dilas antara *brace* dan *chord* [1]. Pada umumnya Struktur jaket banyak digunakan dalam teknik lepas pantai seperti pondasi anjungan gas/minyak atau turbin angin lepas pantai [2]. *Platform fixed jacket* adalah jenis struktur kolom yang menahan beban aksial dan beban lateral[3]. Beban aksial umumnya didistribusikan ke semua kaki jaket dalam arah vertikal dan sebaliknya, beban lateral bekerja pada komponen struktural, seperti diagonal dan horizontal *brace*, termasuk elemen jaket[4]. Bahan baku atau material utama struktur *jacket* yang digunakan adalah baja. Baja memiliki sifat-sifat yang menguntungkan untuk dipakai sebagai bahan struktur yang mampu memikul beban statik maupun beban dinamik pada struktur *Jacket* yang digunakan pada bangunan lepas pantai. *Jacket* berfungsi untuk melindungi pile agar tetap pada posisinya, menyokong deck dan melindungi konduktor serta menyokong substruktur lainnya[5]. Kekuatan statis adalah salah satu faktor yang paling mempengaruhi kinerja sambungan tubular di platform jaket lepas pantai.[6]

Bangunan lepas pantai senantiasa mengalami beban lingkungan di laut yang bervariasi seperti angin, gelombang dan arus. Variasi beban lingkungan di laut akibat gelombang menimbulkan gaya hidrodinamik yang merupakan faktor kritis dalam analisis *fatigue*. Tegangan yang timbul akibat gaya hidrodinamik ini merupakan tegangan siklik yang secara kontinyu dalam jangka waktu yang lama dapat membuat kekuatan

Article History

Submitted: 08/02/2023

Revised : 07/08/2023

Accepted : 09/05/2023

Published: 09/05/2023

Kata Kunci :

Hotspot Hot Spot Stress, Sambungan Tubular, Brace T, SIFS(K1)

struktur menjadi kritis [7]. Permasalahan yang selalu ada pada bangunan lepas pantai adalah kerusakan yang dapat menyebabkan struktur tersebut gagal. Kerusakan bangunan laut terutama terjadi akibat kelelahan (*fatigue*), baik pada komponen struktur utama maupun struktur sekunder dan tersier [8]. Menurut Wirsching (1987), bangunan lepas pantai cenderung mengalami kelelahan karena beban lingkungan yang bekerja didominasi oleh gelombang yang bersifat siklis, sehingga kelelahan adalah penyebab utama kerusakan pada bangunan lepas pantai, di mana struktur merespon secara dinamis gelombang acak. Disamping itu faktor operasi lain pada tingkat tertentu juga dapat menambah beban siklis ini, sehingga keadaan struktur bertambah kritis [8]. Kerusakan akibat kelelahan telah menjadi salah satu sebab yang paling umum dari kegagalan yang terjadi pada tubular joint struktur lepas pantai [9]. Kelelahan merupakan fenomena penting yang menyebabkan kegagalan kerusakan di sekitar las pada sambungan [10] dimana kelelahan sering terjadi di daerah persimpangan *brace* struktur lepas pantai yang disebabkan adanya pembebanan siklik oleh gelombang dan angin [11]. Analisis *fatigue* pada anjungan lepas pantai secara umum merupakan suatu prosedur perhitungan yang dimulai dengan analisis gaya gelombang yang menimbulkan range tegangan pada wilayah hot-spot dan diakhiri dengan estimasi kerusakan akibat *fatigue* [12].

A. Sambungan Tubular

Sambungan tubular merupakan bagian dari *bracing jacket platform* dengan bagian utama disebut *chord* dan bagian cabang disebut *brace*, keduanya dihubungkan dengan sambungan yang dikenal dengan *tubular joint*. Sambungan tubular pada *jacket platform* yang terkena beban dari berat struktur sendiri maupun pengaruh dari lingkungan dan adanya diskontinuitas antara *brace* dan *chord* menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada garis sambungan antara *brace* dan *chord* (*intersection line*). *Jacket platform* umumnya terdiri dari rangkaian pipa tubular yang di sambungkan satu sama lain dengan pengelasan, dimana sambungan ini disebut *tubular joint*. [13] *Tubular joint* mempunyai bagian utama disebut *chord* yang memiliki *outside* diameter lebih besar dibandingkan dengan bagian cabang yang disebut *brace*. Dalam mendesain suatu struktur yang disambung dengan sambungan las pun harus dihitung dengan akurat agar memiliki ketahanan yang cukup selama umur hidupnya [14].

B. Stress Concentration Factor

Beban pada sambungan tubular akan menimbulkan tegangan *hotspot*, yaitu tegangan maksimum pada kaki sambungan yang besarnya beberapa kali tegangan nominal, sehingga menimbulkan percepatan timbulnya kelelahan pada struktur akibat beban yang berulang (beban siklik). Hot spot stress merupakan konsentrasi tegangan maksimum disatu lokasi tertentu. HSS kisaran dapat ditentukan dari parameter yang disebut konsentrasi tegangan faktor (SCF). SCF adalah rasio tegangan permukaan lokal terhadap tegangan langsung nominal pada penyangga. Ketika retak kelelahan kecil dihasilkan di dekat lokasi HSS, retakan permukaan tumbuh terus menerus di bawah sirkulasi beban lelah yang konstan [15]. Perbandingan antara tegangan *hotspot* dengan tegangan nominalnya ini disebut *Stress Concentration Factor (SCF)*. Semakin besar nilai *SCF* suatu struktur maka akan memperpendek usia struktur tersebut [16]. Pendekatan tegangan hot spot biasanya diadopsi dalam desain kelelahan dan analisis sambungan las tubular [17]. Lokasi *hot spot stress* yang terjadi pada sambungan tubular tidak dapat diprediksi tanpa mengetahui distribusi tegangan yang terjadi pada sambungan tubular. Sehingga Informasi mengenai distribusi tegangan juga sangat dibutuhkan untuk memprediksi lokasi terjadinya *fatigue crack growth* [1]. Oleh karena itu, dalam melakukan analisis lokal pada sambungan tubular perlu mengetahui distribusi tegangan untuk menentukan besarnya *hotspot stress* pada sambungan tubular tersebut. Faktor konsentrasi tegangan (*SCF*) adalah faktor pengali terhadap tegangan nominal, sehingga dicapai tegangan puncak atau maksimumnya di suatu titik kritis (*hot spot stress*). Besarnya *SCF* merupakan komponen penting dalam perhitungan *fatigue damage* karena tegangan yang terjadi pada sambungan tubular tidak menyebar secara merata (terkonsentrasi pada satu titik). Besarnya *SCF* bergantung pada geometri sambungan, tipe pembebanan, tipe dan ukuran dari lasan [18]. Secara umum, HSS bisa dihitung langsung dengan mengalikan tegangan nominal dengan konsentrasi tegangan faktor (*SCF*) di hot spot. Hasil analisis sensitivitas dilakukan oleh Pillai dan Prasad (2000) menyerukan penekanan yang lebih besar dalam menghitung secara akurat faktor konsentrasi tegangan (*SCF*) selama prediksi kelelahan kehidupan bangunan lepas pantai [19]. Secara umum, HSS bisa dihitung langsung dengan mengalikan tegangan nominal dengan konsentrasi tegangan faktor (*SCF*) yang terjadi pada hot spot stress [20].

Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan simulasi kuantitatif dengan melakukan simulasi perhitungan *hotspot stress* dengan menggunakan *software ANSYS*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui letak dan besar tegangan maksimum yang terjadi, selain itu penelitian ini juga akan menghitung umur dari kelelahan struktur.

A. Data Penelitian

- Beban Struktur

Pada penelitian ini beban yang digunakan adalah tipe beban presure dengan pembebanan sebesar 200 Mpa.

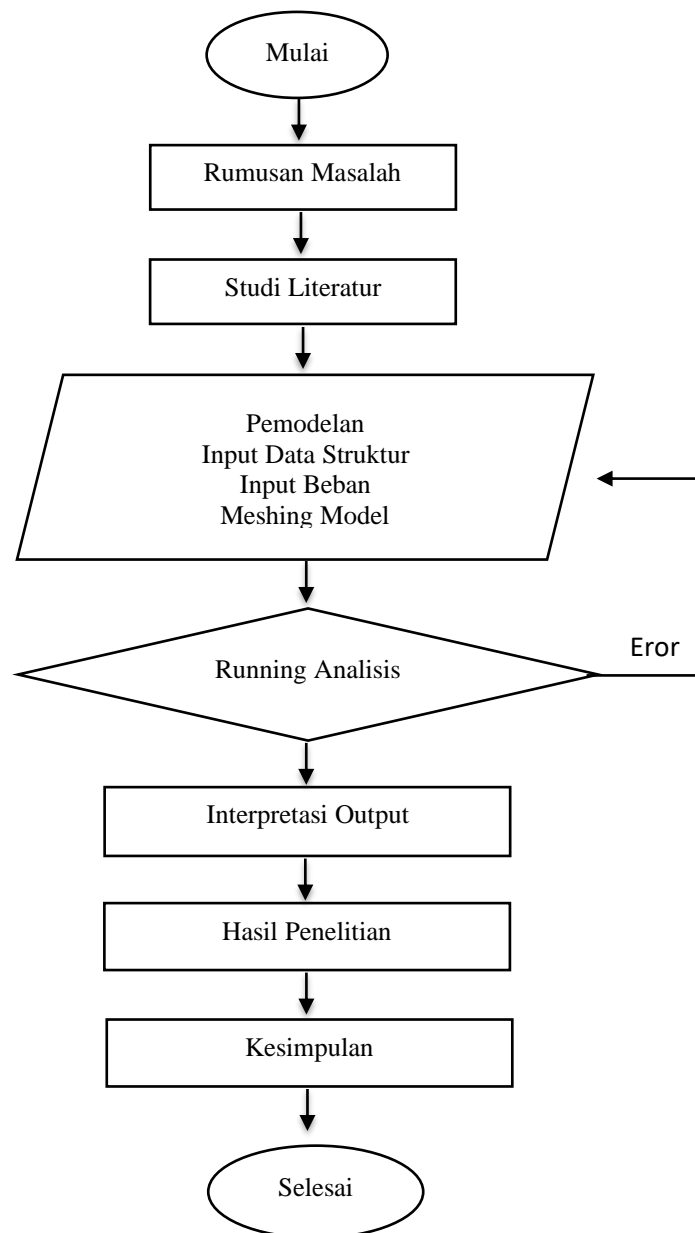
- Dimensi Struktur

Data dimensi struktur tubular yang digunakan untuk *chord* dan *brace* pada penelitian ini adalah seperti yang tertuang pada tabel 1.

Tabel 1. Dimensi Struktur

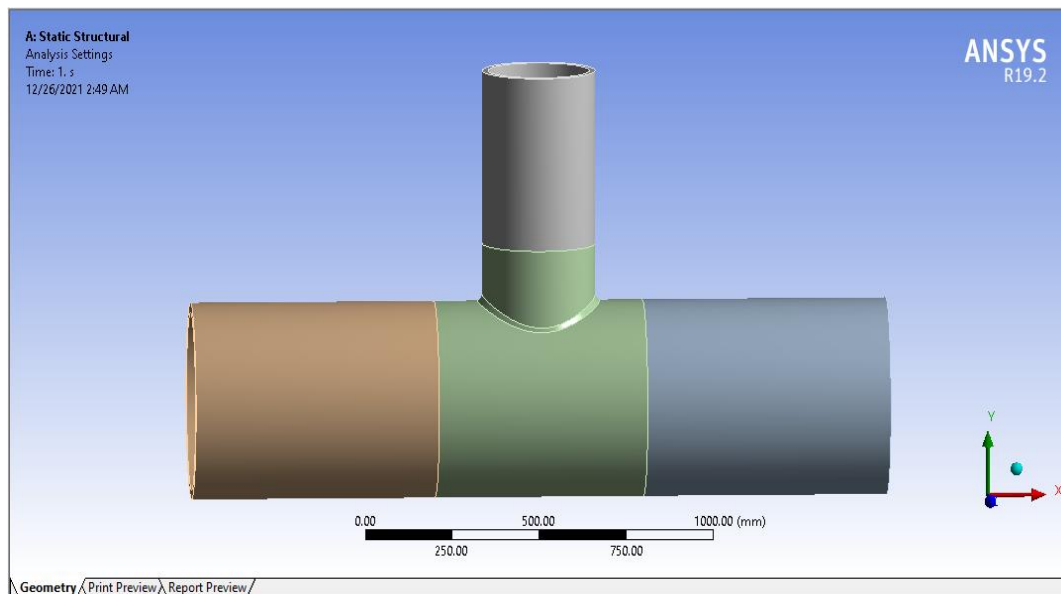
| No | Elemen | Panjang (mm) | Diameter (mm) | Tebal (mm) |
|----|--------------|--------------|---------------|------------|
| 1 | <i>Chord</i> | 2000 | 508 | 25 |
| 2 | <i>Brace</i> | 650 | 324 | 16 |

Tabel 1 diatas merupakan data struktur yang digunakan dalam penelitian dimana struktur memiliki dua elemen yaitu *chord* dan *brace* yang memiliki panjang dan tebal yang berbeda. Material yang digunakan adalah pipa baja dengan *stress yield* adalah 250 Mpa. Adapun diagram alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



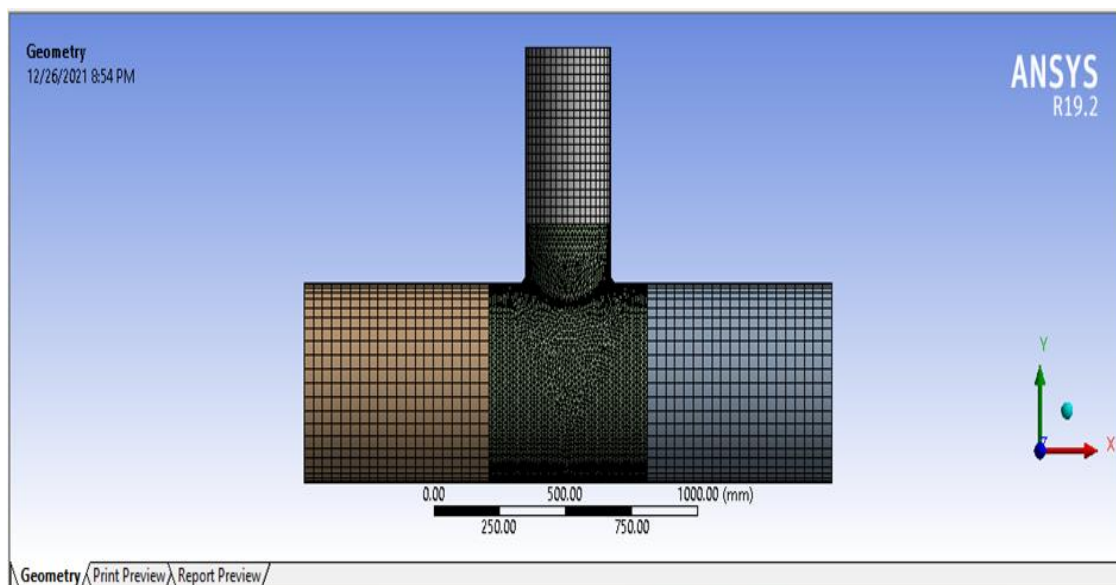
Gambar 1. Flowchart Penelitian

B. Model Sambungan *Tubular Ansys*



Gambar 2. Model Sambungan dengan *Ansys*

Gambar 2 adalah gambar yang dimodelkan pada software ansys dimana merupakan model yang akan diuji dan disimulasikan. Model ini dibuat berdasarkan data dimensi yang dimiliki dan selanjutnya akan diberikan pembebanan dan dilakukan perhitungan tegangan hotspot pada model sambungan tubular. Model tersebut telah dilakukan pembagian komponen dimana terdapat 4 komponen struktur, pembagian komponen ini untuk mempermudah proses kegiatan meshing sehingga dapat diatur besar kecilnya pembagian elemen untuk masing-masing komponen pada model. Setelah dilakukan pemodelan maka selanjutnya dilakukan meshing pada model tersebut seperti pada Gambar 3.



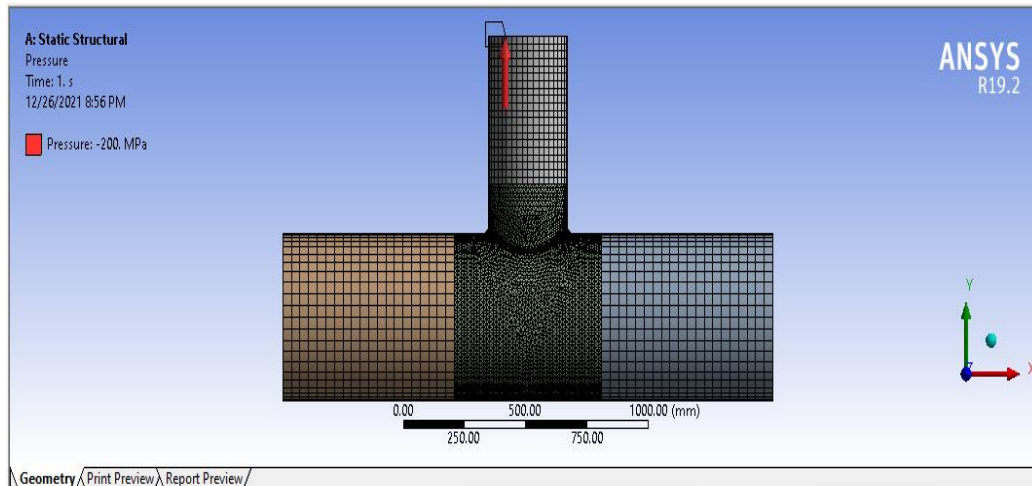
Gambar 3. *Meshing* Model

Gambar 3. *Meshing* merupakan proses pembagian komponen menjadi sejumlah elemen elemen sehingga pada saat komponen diberi beban akan terdistribusi secara seragam. Ukuran elemen *mesh* dapat mempengaruhi hasil, semakin besar elemen *mesh* maka hasil yang didapatkan akan semakin tidak konservatif. Oleh karena itu, untuk daerah yang ditinjau yaitu pada sambungan antara *chord* dan *brace* elemen *meshing* dibuat lebih kecil dan untuk daerah yang jauh dari tinjauan pengamatan elemen *meshingnya* bisa dibuat agak besar.

Hasil Penelitian

A. Proses Pembebanan

Proses ini merupakan kegiatan input beban kedalam struktur dengan dampak pembebanan tarik, pembebanan ini dilakukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada struktur. Kondisi input beban pada *software* dapat dilihat seperti pada Gambar 4.

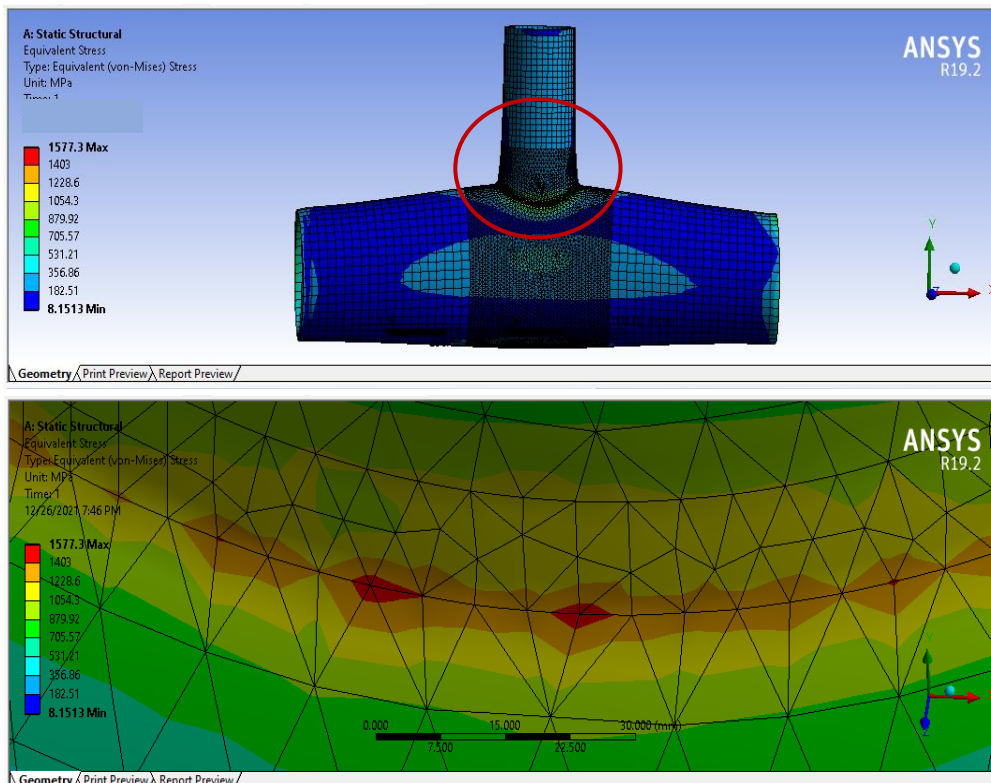


Gambar 4. Proses Pembebanan

Gambar 4 menunjukkan kondisi struktur telah diberikan beban sebesar -200 Mpa pada ujung *brace* dimana arah panah menunjukkan pembebanan dengan tegangan tarik dimana nilai negatif menunjukkan arah tegangan.

B. Perhitungan Tegangan Maksimum

Untuk mengetahui lokasi dan tegangan maksimum yang terjadi pada struktur maka dilakukan perhitungan stress maksimum dengan metode running analisis pada *software* ansys, adapun hasil dari perhitungan bisa dilihat pada Gambar 5.

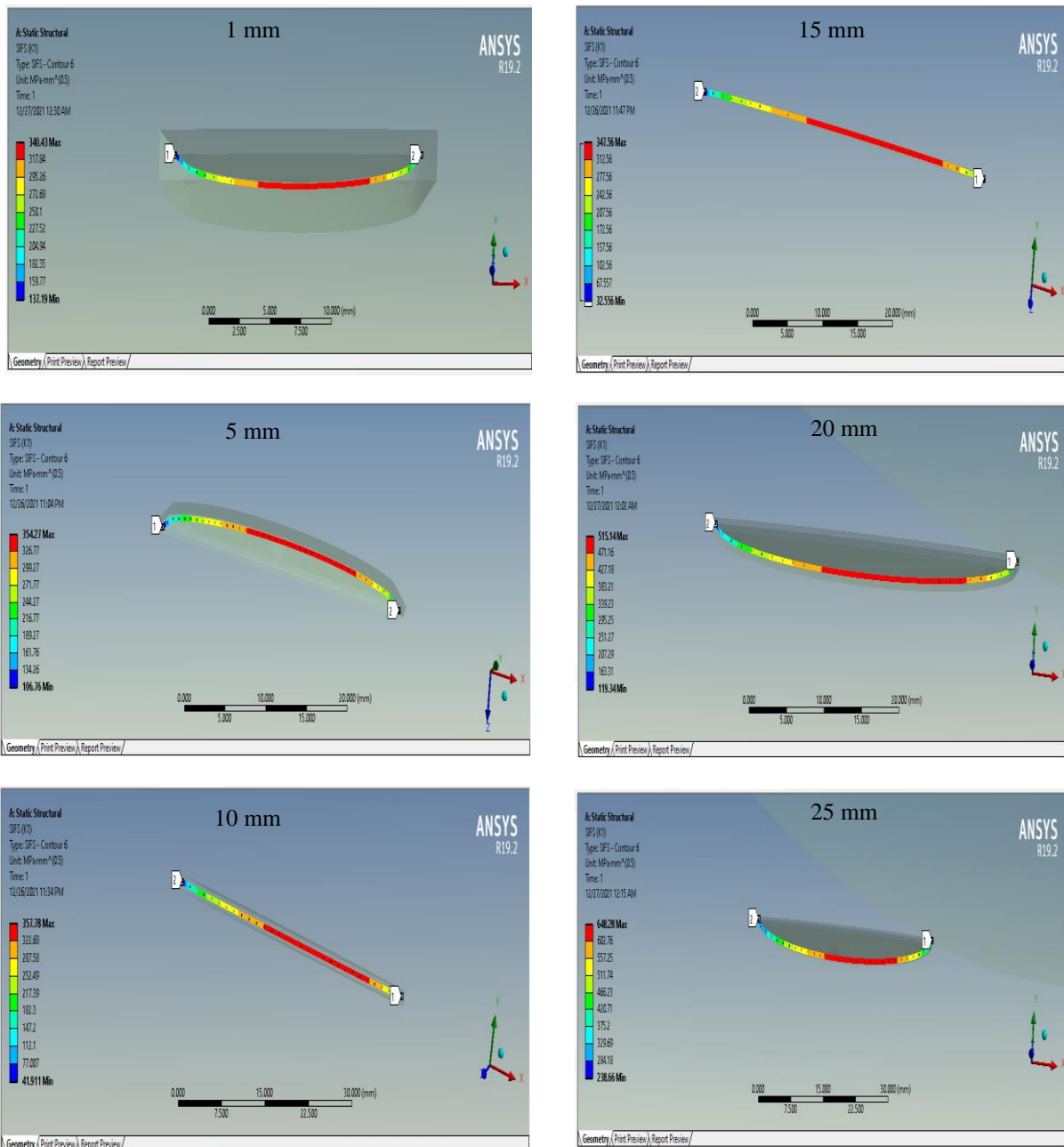


Gambar 5. Tegangan Maksimum

Gambar 5 menunjukkan letak *hotspot stress* yang terjadi pada struktur adalah pada area sambungan las dimana terlihat pada gambar titik merah yang menandakan titik stres tertinggi terjadi pada area tersebut dengan tegangan maksimum yang terjadi sebesar 1577.3 Mpa.

C. Perhitungan *SIFS* (K_1)

SIFS merupakan nilai pemusatan tegangan yang terjadi pada sambungan tubular dimana nilai K_1 ini digunakan untuk menghitung umur kelelahan pada struktur. Adapun nilai perhitungan *SIFS* pada software ansys dapat dilihat pada gambar 6.



Gambar 6. Hasil perhitungan *SIFS* (K_1)

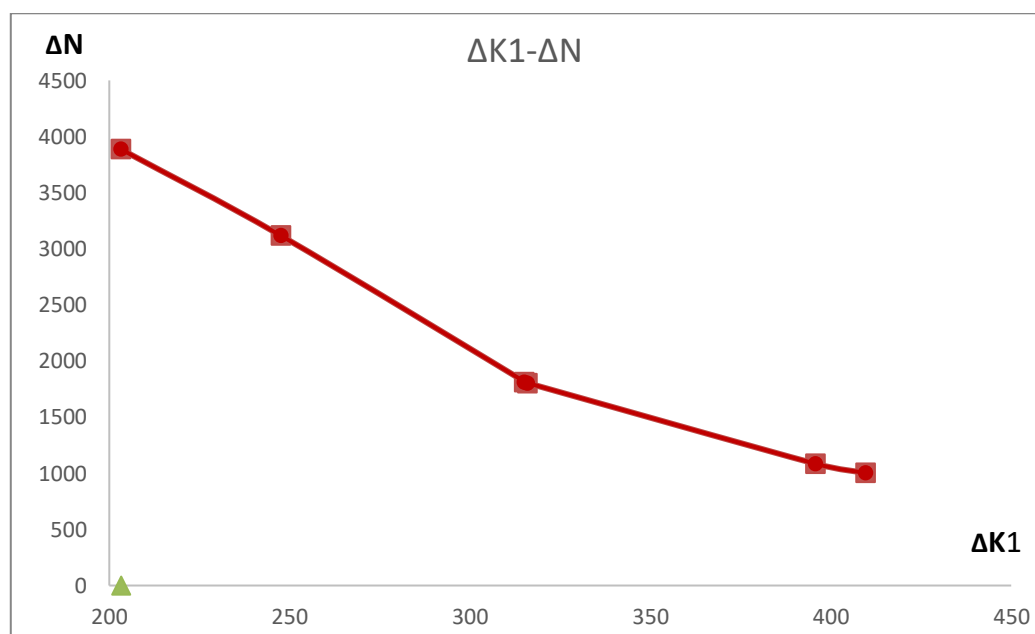
Gambar 6. menunjukkan kondisi pemusatan tegangan yang terjadi dimana gambar dengan warna merah menunjukkan kondisi tegangan maksimum yang terjadi pada area sambungan tubular. Nilai K_1 dihitung dengan variasi kedalaman retak yaitu mulai dari 1 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm dan ketebalan maksimum *chord* yaitu 25 mm. adapun nilai maksimum *SIFS* yang terjadi adalah sebesar 648.28 Mpa dengan kedalaman retak 25 mm. selanjutnya nilai K_1 ini dapat digunakan dalam perhitungan integritas nilai *N* seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Integrasi Nilai N degan perhitungan numerik

| a0 | af | a avg | KI_{Max} | KI_{Min} | DKI | DN | SN |
|-----------|-----------|--------------|-------------------------|-------------------------|------------|-----------|-----------|
| 1 | 5 | 3 | 340.43 | 137.19 | 203.24 | 3885.934 | 3885.934 |
| 5 | 10 | 7.5 | 354.27 | 106.76 | 247.51 | 3117.758 | 7003.692 |
| 10 | 15 | 12.5 | 357.78 | 41.91 | 315.87 | 1801.077 | 8804.768 |
| 15 | 20 | 17.5 | 347.56 | 32.56 | 315 | 1812.288 | 10617.06 |
| 20 | 25 | 22.5 | 515.14 | 119.34 | 395.8 | 1084.19 | 11701.25 |
| 25 | 30 | 27.5 | 648.28 | 238.66 | 409.62 | 1003.618 | 12704.87 |

N= 12704.87

Tabel 2 merupakan perhitungan integrasi nilai N yang dilakukan dari hasil perhitungan SIFS dimana dengan menggunakan metode numerik didapat nilai integrasi N sebesar 12704.87. perbandingan nilai antara ΔK_1 dan ΔN dapat dilihat seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Grafik perbandingan nilai DN Terhadap ΔK_1

Dari Gambar 7 dapat dilihat pergerakan nilai ΔN terhadap ΔK_1 dimana semakin semakin besar nilai ΔK_1 maka nilai ΔN yang dihasilkan akan menjadi semakin kecil.

Kesimpulan

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Hotspot stres* terjadi pada area sambungan tubular dengan tenggangan kerja maksimum sebesar 1577.3 Mpa.
2. Nilai SIFS (K_I) maksimum yang terjadi adalah sebesar 648.28 Mpa dengan pemodelan kedalaman crack 25 mm
3. Perhitungan SIFS (K_I) dilakukan dengan 6 pemodelan yaitu 1 mm, 5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm dan 25 mm sehingga diperoleh nilai integrasi N dengan metode numerik sebesar 12704.87

Daftar Pustaka

- [1] Ahmadi, Hamid, Esmail Zavvar. 2015. Stress concentration factors induced by out-of-plane bending loads in ring-stiffened tubular KT-joints of jacket structures. *Thin Walled Structures* 91, 82-95.
- [2] Pan, Z., Wu, G., Si, F., Shang, J., Zhou, H., Li, Q., & Zhou, T. (2022). Parametric study on SCF distribution along the weld toe of internally ring-stiffened two-planar tubular KK joints under axial loading. *Ocean Engineering*, 248, 110826.
- [3] Muis Alie, M.Z., 2016. The Effect Of Symmetrical and Asymmetrical Configuration Shapes On Bukling and Fatigue Stength Analysis Of Fixed Offshore Platform. *International Journal of Technology (IJTech)*, Indonesia. ISSN 2086-9614.
- [4] Anwar, A., & Bachmid, R. 2020. Optimasi struktur helideck dengan variasi beban helikopter. *Construction and Material Journal*, 2(3), 155-161.
- [5] ROHMAN, A. N. (2021). Analisis In-Place Struktur Fixed Jacket Platform Tipe Empat Kaki (In-Place Analysis Of Fixed Jacket Platform Structure Type Four Legs).
- [6] Hossein Nassiraei, Alireza Mojtahedi, Mohammad Ali Lotfollahi-Yaghin, 2018. Static strength of X-joints reinforced with collar plates subjected to brace tensile loading, *Ocean Engineering* 161. 227–241
- [7] R. L. Tawekal, Fitriany, and M. T. Tukuboya. 2006. “Pengembangan Formula SCF untuk Analisa Kelelahan Joint (Sambungan) T pada Struktur Bangunan Lepas Pantai,” *J. Tek. Sipil*, vol. 15.
- [8] Djatmiko, E. B., 2003. Analisis Kelelahan Struktur Bangunan Laut, *Kursus Singkat Offshore Structure Design And Modelling*, Surabaya.
- [9] Liu, G., Li, Z., Li, Z., & Huang, Y. (2021). A multi-axial fatigue-oriented strategy for fatigue damage monitoring and assessment of tubular joints. *Ocean Engineering*, 227, 108876.
- [10] Hoque, T., & Mahmud, S. M. (2023). Fatigue Analysis of Fillet Welded Joints Using Hotspot Stress Method. *Fatigue Analysis of Fillet Welded Joints Using Hotspot Stress Method* (May 10, 2023).
- [11] Maheswaran, J., Siriwardane, S.C., 2016. Fatigue life estimation of tubular joints—a comparative study. *Fatig. Fract. Eng. Mater. Struct.* 39 (1), 30–46
- [12] Tawekal, R. L., & Heriana, R. (2007). Analisis Keandalan Anjungan Lepas Pantai Tipe Jacket Berdasarkan Kapasitas Fatigue pada Sambungan. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 14(2), 93-104.
- [13] Ahmadi, H., Lotfollahi-Yaghin, M. A., & Aminfar, M. H. (2011). Effect of stress concentration factors on the structural integrity assessment of multi-planar offshore tubular DKT-joints based on the fracture mechanics fatigue reliability approach. *Ocean Engineering*, 38(17-18), 1883-1893.
- [14] Kencana, Elsa Rizkiya (2014) Analisa Elemen Hingga Untuk Menentukan Hotspot Stress Pada Sambungan Las. Undergraduate thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [15] Qu, H., Huo, J., Xu, C., & Fu, F. (2014). Numerical studies on dynamic behavior of tubular T-joint subjected to impact loading. *International Journal of Impact Engineering*, 67, 12-26.
- [16] Lloyd’s Register, 1997. *Stress Concentration Factors for Simple Tubular Joints - Assessment of Existing and Development of New Parametric Formulae*, London.
- [17] Chan, T. H. T., Zhou, T. Q., Li, Z. X., & Guo, L. (2005). Hot spot stress approach for Tsing Ma Bridge fatigue evaluation under traffic using finite element method. *Structural Engineering and Mechanics*, 19(3), 261-280.
- [18] Karamanos, Spyros A., Arie Romeijn, Jaap Wardenier. 2001. SCF equations in multi-planar welded tubular DT-joints including bending effects. *Marine Structures*, Vol 15, 157-173
- [19] Ahmadi, H., Lotfollahi-Yaghin, M. A., & Aminfar, M. H. (2011). Effect of stress concentration factors on the structural integrity assessment of multi-planar offshore tubular DKT-joints based on the fracture mechanics fatigue reliability approach. *Ocean Engineering*, 38(17-18), 1883-1893.
- [20] 9.Xu, C., Liu, G., Li, Z., & Huang, Y. (2020). Multiaxial fatigue life prediction of tubular K-joints using an alternative structural stress approach. *Ocean Engineering*, 212, 107598.