

ANALISIS KEKUATAN ANCHOR CROWN SHACKLE PADA FPU MADURA STRAIT DENGAN VARIASI SUDUT MOORING LINE

Imam Abadi Ibnu Ismail, Daeng Paroka, dan Muhammad Zubair Muis Alie

Departemen Teknik Kelautan, Universitas Hasanuddin

Email: imamafisgo@gmail.com

Abstrak

Floating production unit Madura Strait yang akan disingkat FPU adalah suatu struktur terapung yang berfungsi sebagai unit produksi minyak dan gas yang akan diletakkan pada selat Madura yang akan ditambatkan secara catenary kepada jangkar di dasar laut. Selama pengoperasiannya FPU akan mengalami pergerakan secara terus menerus akibat hasil respon terhadap beban dinamis yang menghantamnya. Hal ini akan berisiko kepada gagalnya mooring line. Selain mooring line, kekuatan penyambung rantai juga menjadi salah satu struktur yang mesti diperhatikan, yaitu anchor crown shackle dan connecting link. Dalam penelitian kali ini bertujuan menganalisa kekuatan dari anchor crown shackle dan connecting link, yang didahulukan dengan mencari nilai tension terbesar dengan melakukan analisa time domain terhadap mooring line dengan variasi beberapa sudut antar mooring line pada kondisi ULS dan ALS. Hasil analisisnya menunjukkan bahwa variasi sudut antar mooring line sebesar 5° adalah yang paling aman bagi FPU karena memiliki akumulasi nilai RAO yang rendah dan safety factor mooring line yang paling tinggi secara akumulasi dalam kondisi ALS dan ULS dibanding variasi yang lain. Untuk kekuatan anchor crown shackle dan connecting link, hasil analisa dengan menggunakan beban sebesar 2500kN akibat tension maksimum yang dihasilkan oleh mooring line pada kondisi ALS menunjukkan nilai tegangan maksimum 278.54 Mpa yang berarti nilainya lebih kecil dari 90% yield strength material (417.42 Mpa) dan deformasi terbesar 0.00024 m untuk anchor crown shackle dan 0.00034 untuk connecting link yang berarti masing – masing nilainya kurang dari 5% diameter struktur (0.01 m) sehingga struktur tersebut dapat dikatakan aman menurut standar yang diizinkan oleh ABS.

Kata kunci: FPU, tension, RAO, von mises stress, anchor crown shackle, connecting link.

PENDAHULUAN

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi dan menipisnya cadangan minyak di daratan dan pesisir pantai, maka area eksplorasi diperluas ke area laut dalam. Untuk menghadapi lingkungan perairan yang lebih dalam, bangunan laut yang akan dioperasikan adalah jenis-jenis yang dianggap efektif dari segi biaya, seperti jenis-jenis anjungan apung. Anjungan lepas pantai untuk Floating Offshore Structure sendiri terdapat TLP platform, semisubmersible platform, floating production system, dan juga SPAR platform [3]. Salah satu jenis struktur yang digunakan dalam pekerjaan eksploitasi lepas pantai adalah Floating Production Unit atau FPU yang digunakan sebagai unit awal proses produksi natural gas atau hidrokarbon dimana selanjutnya akan disalurkan ke kilang darat melalui subsea sealine atau kapal tanker. Dengan eksploitasi sumber daya menjangkau perairan dalam, struktur terapung digabungkan dengan sistem tambat yang cukup efektif dan andal menjadi semakin populer [5]. Sistem tambat dihadapkan dengan lebih banyak tantangan untuk menjamin keandalan dan keamanan anjungan di lepas pantai. Dalam hal ini, sistem tambat menjadi bagian penting dari sistem pemeliharaan kedudukan anjungan yang dikembangkan untuk eksplorasi dan produksi sumber daya minyak dan gas lepas pantai [6]. Ada tiga jenis pengaturan untuk sistem penambatan spread mooring yang dikenal dengan taut mooring, catenary mooring dan catenary mooring with buoyancy [4]. Tali tambat yang biasanya digunakan berupa heavy chain, steel wire ropes dan/atau synthetic polyester ropes yang dihubungkan ke jangkar di dasar laut [7]. Dalam penelitian kali ini yang akan menjadi titik berat penelitian adalah penentuan variasi ukuran sudut tali tambat terhadap tali tambat yang berada di tengah dalam system grouping. Dalam teorinya semakin besar sudut antara tali tambat, maka jarak horizontal tali tambat akan semakin besar. Hal tersebut akan membuat system catenary akan sedikit lebih tegang. Selain itu, bagian jangkar dalam sistem tambat harus selalu diperhitungkan. Jangkar sendiri akan menerima gaya tarik terus menerus pada saat sistem tambat beroperasi [2]. Gaya tarik tersebut berasal dari mooring line yang memiliki nilai tension akibat hasil dari adanya respon struktur yang ingin diredam gerakannya terhadap beban-beban yang terjadi di laut



copyright is published under [Lisensi Creative Commons Atribusi 4.0 Internasional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

lepas, contoh beban terbesar adalah beban gelombang. Salah satu titik krisis di bagian jangkar adalah crown shackle chain yang digunakan sebagai penghubung awal antara jangkar dan tali tambat. Seperti yang telah dijelaskan di atas, ada berbagai macam jenis tali tambat, dalam penelitian kali ini yang digunakan adalah jenis heavy chain. Untuk itu, penulis beranggapan bahwa crown shackle chain perlu diperhitungkan kekuatannya.

PEMODELAN STRUKTUR

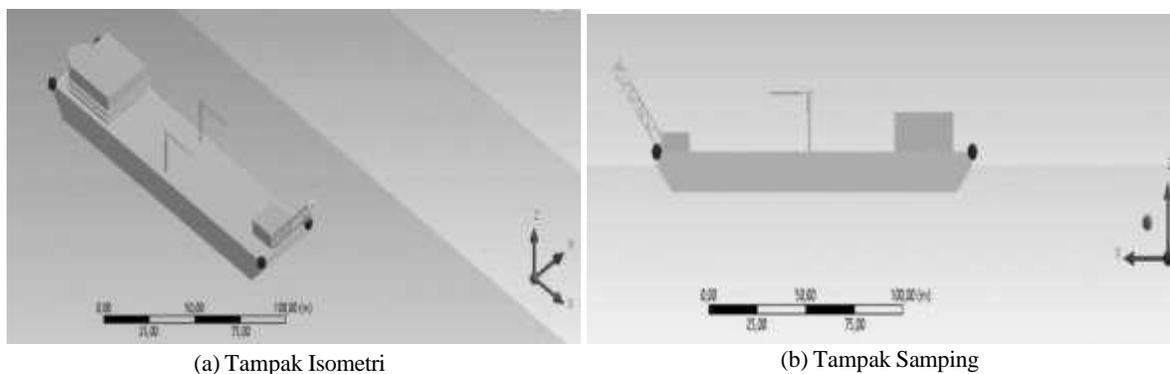
Pemodelan Struktur FPU dan Tambatan

Sebelum dilakukan proses running di Aqwa, tentunya harus ada model struktur yang akan diteliti baik itu dalam model dua dimensi atau tiga dimensi. Fitur yang dapat digunakan ialah Ansys Geometry, yang di dalamnya terdapat dua software, yaitu Design Modeler dan Space Claim. Karena model yang dibuat adalah sebuah struktur Floating Production Unit yang selanjutnya disingkat FPU, dimana struktur FPU yang dibuat memiliki nilai koefisien blok yang mendekati satu, maka penulis memakai software space claim sebab user interface yang diberikan sangat memudahkan dalam membuat model tiga dimensi. Model tiga dimensi dari FPU yang terletak pada Selat Madura ini menggunakan acuan data yang diambil dari Siti Rahayuningsih, ST., M.T. yang dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 1. Data Geometri FPU Madura Strait (Rahayuningsih, 2020)

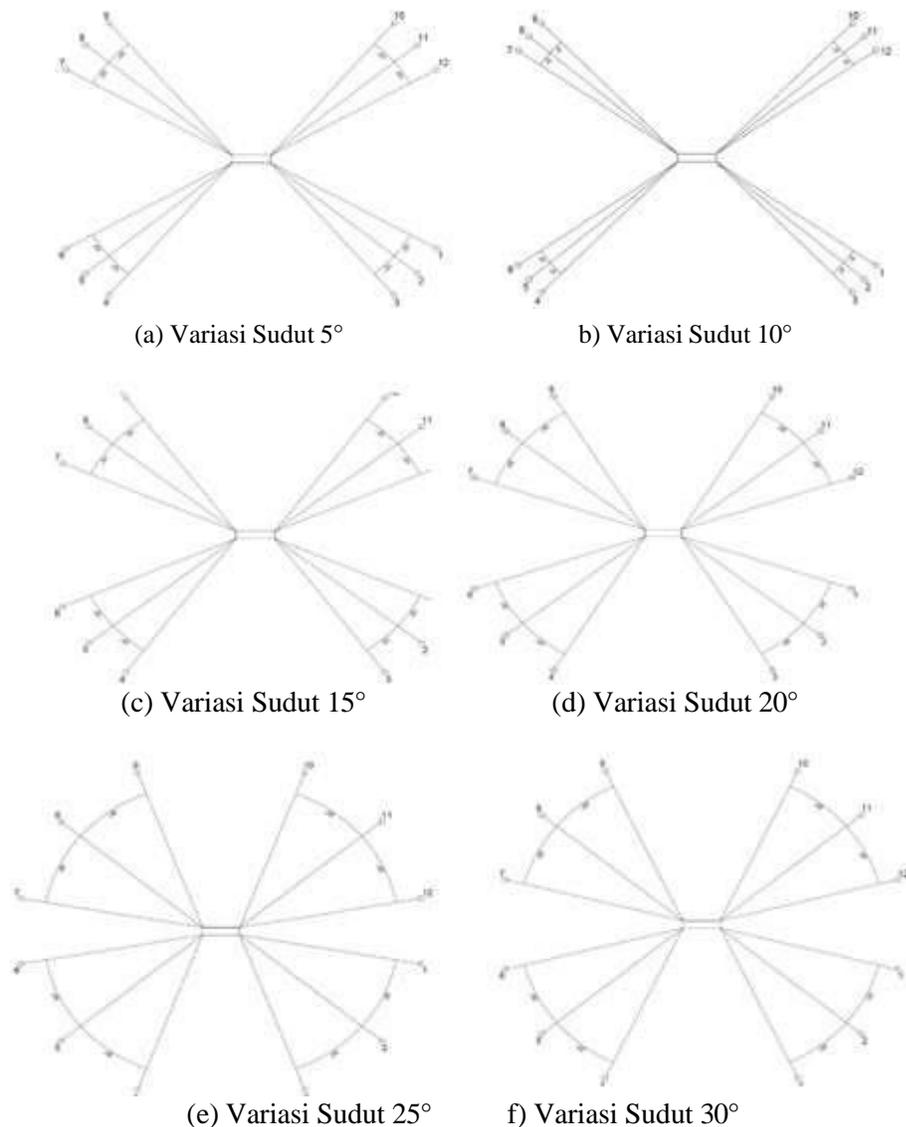
| Item | Satuan | Nilai dalam Kondisi Fullload |
|-------------------|--------|------------------------------|
| LoA | m | 162,5 |
| LBP | m | 162,0 |
| Displacement | ton | 45.727 |
| Breadth | m | 36,0 |
| Depth | m | 12,0 |
| Draught | m | 8,0 |
| Coefficient Block | | 0,95 |

Untuk lebih jelasnya model tiga dimensi yang telah penulis buat dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Model FPU Madura Strait (Pemodelan, 2021)

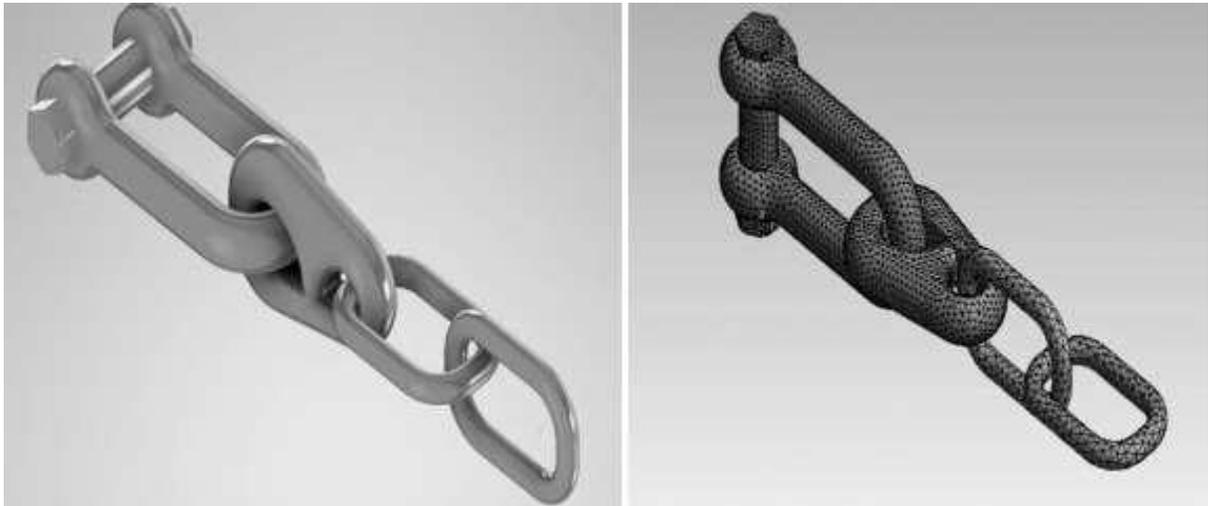
Konfigurasi mooring pada FPU ini terdiri dari 4 grup sistem yang terdiri dari tiga garis tambatan dan jangkar. Adapun variasi lebar sudut antar mooring line yang diteliti adalah sudut 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, yang dapat dilihat pada gambar di bawah ini



Gambar 2. Konfigurasi Variasi Mooring FPU Madura Strait (Pemodelan, 2021)

Pemodelan Struktur *Anchor Crown Shackle*

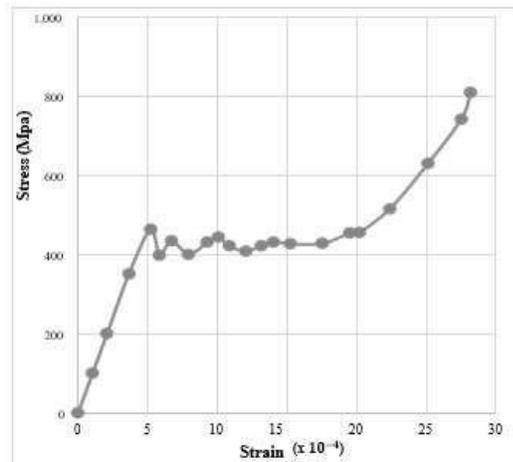
Hasil pemodelan *anchor shackle* dan *connecting links* beserta dengan dua buah rantai *mooring line* dengan menggunakan *software autodesk inventor* yang dapat kita lihat pada gambar 3 di bawah ini. Untuk perhitungan kali ini yang dihitung adalah tegangan lokal yang terjadi pada *anchor shackle* dan *connecting links*, sedangkan *mooring line* telah dihitung di tabel sebelumnya dan memenuhi kriteria aman, adapun nilai *tension* dari *mooring line* akan menjadi gaya tarik bagi *anchor shackle* dan *connecting links*.



(a) Pemodelan *Anchor Crown Shackle* pada *Autodesk Inventor* (b) Hasil Meshing *Anchor Crown Shackle* pada *Ansys Mechanical*

Gambar 3. Konfigurasi Variasi Mooring *FPU Madura Strait* (Pemodelan, 2021)

Untuk mengetahui nilai yield strength dari material grade U3 yang digunakan pada struktur di atas maka perlunya dilakukan tensile test, berikut adalah grafik true stress-strain yang disajikan pada gambar 4.



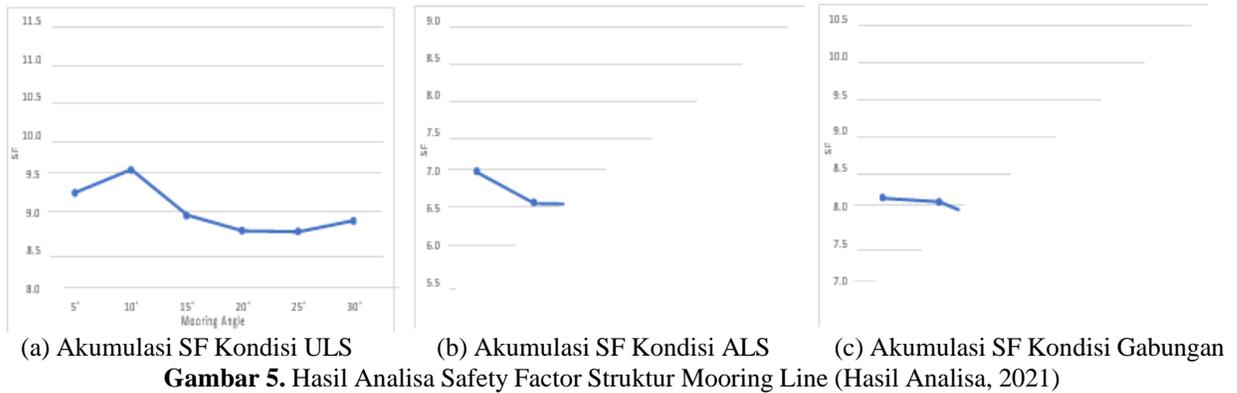
Gambar 4. Kurva *True Stress-Strain* Struktur *Anchor Crown Shackle* (Hasil Analisa, 2021)

HASIL ANALISA

Analisa Tension pada *Mooring Line*

Analisa tension diperlukan untuk menentukan apakah nilai tension yang terjadi pada FPU sudah aman dalam pengoperasiannya. Kriteria desain untuk analisis menggunakan kondisi ULS dan ALS. Untuk ALS sendiri diperlukannya kegagalan mooring line minimal satu dengan penentuan mooring line yang gagal dapat diambil dari nilai tension maksimum suatu mooring line kondisi pada kondisi ULS.

Analisa kali ini adalah analisa time domain dengan menggunakan waktu selama tiga jam untuk menganalisa satu model berdasarkan heading wave dalam satu variasi sudut mooring line menggunakan software Ansys Aqwa. Adapun hasil analisa nilai safety factor mooring line dapat dilihat pada grafik di gambar 5 berikut.



Dari penyajian grafik di atas, kita dapat melihat bahwa kondisi untuk one line damaged pada mooring lines FPU Madura Street memiliki nilai safety factor tertinggi pada saat diberikan sudut mooring line 25° dan diikuti oleh variasi sudut mooring line sebesar 5°. Apabila mempertimbangkan nilai safety factor dari kedua kondisi di atas maka pemilihan variasi sudut 5° adalah yang paling aman.

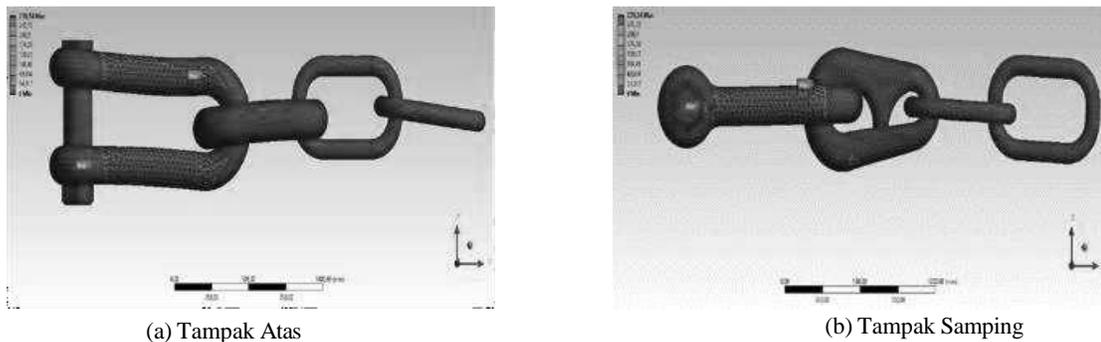
Untuk variasi sudut mooring line 10°, 15°, 20°, 25°, dan 30° masih dikategorikan aman sesuai karena nilai safety factor dalam kondisi ULS masih lebih besar dari 1.67 dan nilai safety factor untuk kondisi ALS masih lebih besar dari 1.25 sesuai dengan ketentuan API RP2SK (2005).

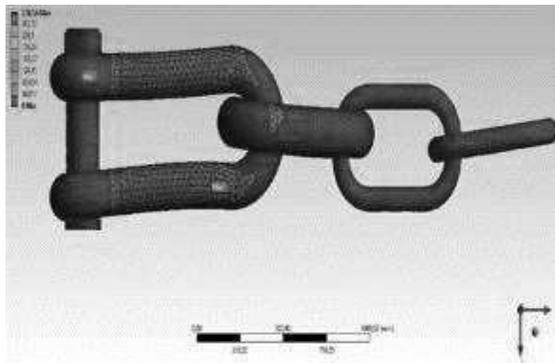
Analisa Kekuatan Anchor Crown Shackle

Dalam menganalisa suatu struktur diperlukannya pembuatan model yang dapat mewakili bentuk aslinya. Di lautan bebas telah banyak model dan jenis penyambung rantai jangkar yang beredar sesuai dengan kebutuhan masing-masing struktur apung. Untuk FPU Madura Strait sendiri penentuan model penyambung yang digunakan penulis dalam menganalisa kekuatan anchor crown shackle adalah dengan menggunakan satu connecting links yang akan menyambungkan crown shackle yang menempel pada jangkar Strepvis Mk5 dan mooring line.

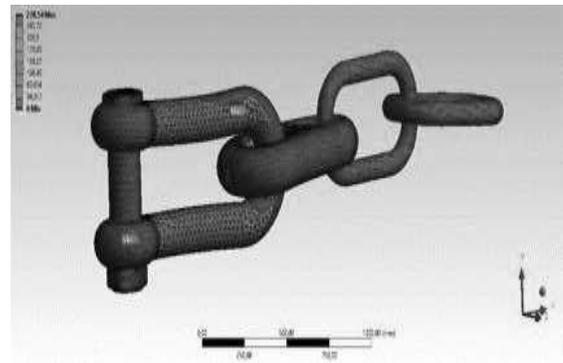
Connecting links sendiri digunakan dalam menyambung mooring line dengan anchor shackle dikarenakan perbedaan diameter yang besar sehingga diperlukannya sambungan yang dapat menyesuaikan antar diameter struktur rantai. Berbeda dengan mooring line yang menggunakan material R4, anchor shackle dan connecting links sendiri menggunakan material grade U3 yang akan diinput ke dalam engineering data yang ada dalam ansys mechanical sesuai standar klasifikasi pada umumnya seperti ABS, DNV, BV serta standar ASTM dan ISO.

Gaya tarik diambil dari beban tension yang diambil dari hasil analisa dari Software Ansys Aqwa. Adapun besaran gayanya adalah 2500 kN hasil pembulatan dari nilai tension tertinggi yang terjadi pada saat mooring line diberikan variasi sudut 30° kondisi ALS sebesar 2444590 N yang memiliki nilai safety factor terendah. Sehingga apabila tegangan yang terjadi masih dalam batas aman maka tegangan yang di bawah nilai tersebut akan dapat dikatakan aman pula. Berikut adalah hasil running model dengan output besarnya von mises stress yang terjadi, tersaji pada gambar 6 di bawah ini.





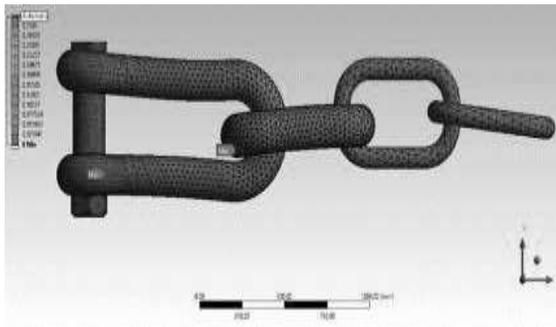
(c) Variasi Sudut 15°



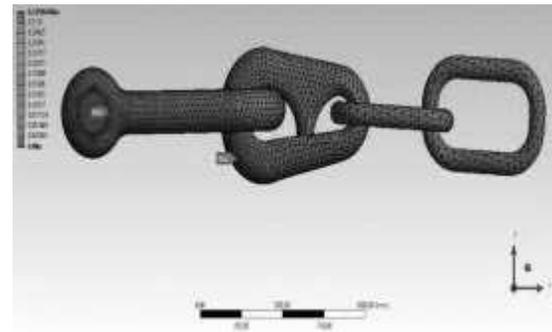
(d) Variasi Sudut 20°

Gambar 6. Von Mises Stress Struktur (Hasil Analisa, 2021)

Berdasarkan hasil running model, diketahui bahwa total tegangan tiga dimensi atau von mises stress yang bernilai maksimum adalah sebesar 278.54 Mpa yang terletak pada bagian lengan anchor crown shackle. Selain nilai tegangan, kita dapat lihat bahwa struktur model mengalami penambahan panjang atau biasa disebut sebagai deformasi. Untuk deformasi sendiri disajikan pada Gambar 7 di bawah ini.



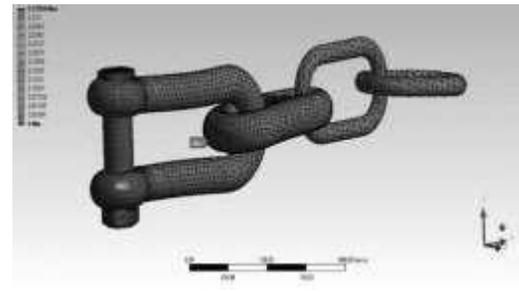
(a) Variasi Sudut 5°



(b) Variasi Sudut 10°



(c) Variasi Sudut 15°



(d) Variasi Sudut 20°

Gambar 7. Deformasi pada Struktur (Hasil Analisa, 2021)

Hasil running di atas juga menunjukkan kondisi deformasi pada struktur yang menunjukkan angka deformasi maksimal senilai 0.34 mm atau setara dengan 0.003 m.

Berdasarkan pada ketentuan ABS, batas aman kemampuan struktur dalam menerima tegangan nilainya harus dibawah atau sama dengan 90% dari nilai yield strength material yang digunakan, lalu untuk maksimal deformasi nilainya harus lebih kecil dari total 5% diameter struktur [1]. Untuk anchor crown shackle yang dimodelkan di atas kita ketahui bahwa nilai yield strength sebesar 463.80 Mpa sehingga dapat diformulasikan:

$$278.54 \text{ Mpa} \leq 90\% \text{ dari } 463.80 \text{ Mpa}$$

$$278.54 \text{ Mpa} \leq 417.42 \text{ Mpa}$$



Untuk batas aman deformasi pada anchor crown shackle dan connecting links kita dapat lihat pada tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2. Batas Aman Deformasi (Hasil Analisa, 2021)

| Struktur | Deformasi Terbesar(m) | Diameter (m) | 5% Diameter (m) | ≤ 5% Diameter |
|----------------------|-----------------------|--------------|-----------------|---------------|
| Anchor Crown Shackle | 0.00024 | 0.18 | 0.009 | Ya |
| Connecting Links | 0.00034 | 0.19 | 0.010 | Ya |

Dari kedua parameter di atas dengan dasar ketetapan aman dari ABS maka dapat dikatakan stuktur anchor crown shackle dan connecting links aman dalam menerima beban dari tension mooring lines akibat respon gerakan FPU Madura Street akibat beban yang bekerja terhadapnya [1].

KESIMPULAN

Dari hasil analisa di atas, ada tiga poin penting yang dapat disimpulkan pada tugas akhir ini, antara lain:

1. Variasi sudut yang memiliki akumulasi nilai respon Safety Factor dari tertinggi ke terendah berturut-turut, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, dan 30°.
2. Gaya tarik maksimum di antara variasi sudut mooring line yang terbesar ketika kondisi ULS bernilai 1872913 N dengan variasi sudut mooring line 30° yang dan kondisi pembebanan gelombang datang dari sudut 45°. Untuk kondisi ALS bernilai 2444590 N yang terjadi ketika sudut mooring line 30° dan arah gelombang datang dari arah 45°.
3. Tegangan maksimum yang terjadi pada struktur anhor crown shackle adalah sebesar 278.54 Mpa yang berarti nilainya masih lebih kecil dari 90% total nilai kekuatan luluh material grade U3 sebesar 417.42 Mpa. Nilai deformasi struktur menunjukkan hasil 0.00024 m untuk anhor crown shackle dan 0.00034 m untuk connecting links yang berarti nilainya masih lebih kecil dari 5% total nilai diameter struktur yang bernilai 0,0005 m. Dari perhitungan dua kriteria keamanan di atas, maka menurut ketentuan ABS kekuatan struktur anchor crown shackle memenuhi kriteria aman

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ABS. 2004. "Guide for Building and Classing Floating Production Installations", USA: American Bureau of Shipping. Shipping ABS Plaza.
- [2] API RP 2 SK. 2005. Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping System for Floating Structures. USA: America Petroleum Institute.
- [3] Chakrabarti, S.K. 2005. Handbook of Offshore Engineering Volume I. Plainfield. Illionis, USA : Offshore Structure Analysis, Inc
- [4] Larsen K, 2014. Lecture Note on Mooring and Station Keeping of Floating Structures (TMR4500 specialization project). NTNU. Trondheim.
- [5] Liu. H.. Wang. C. & Zhao. Y.. 2013. Analytical study of the failure mode and pullout capacity of. Ocean Systems Engineering. Volume 3. pp. 079-095.
- [6] Ma. K.-T.. Lou. Y.. Kwan. T. & Wu. Y.. 2019. Mooring System Engineering for Offshore Structures. Chennai. India: Brian Romer.
- [7] Stendal, L. C., 2015. Analysis Methods for Mooring Systems with focus on Accidental Limit State. Trondheim: Norwegian University of Science and Technology.

