



## Inspeksi Struktur *Mast Rig* Kerja Ulang Sumur Tipe *Portable Mast* Berdaya 350 Hp

Purnomosidi, Muhammad Hafiz Rahman, Muchtia Burhana, Erdila Indriani

Politeknik Energi dan Mineral Akamigas  
Jl. Gajah Mada No.38 Cepu, Indonesia 58315, Indonesia

### ABSTRAK

#### Artikel Info:

Naskah Diterima:  
30 Januari 2025  
Diterima setelah  
perbaikan:  
27 Februari 2025  
Disetujui terbit:  
28 Februari 2025

#### Kata Kunci:

inspeksi NDT  
struktur *rig*  
analisa finite elemen  
kerja ulang sumur

Struktur mast suatu rig pengeboran dan kerja ulang perawatan sumur memiliki peran penting dalam mendukung operasi pengangkatan dan penurunan peralatan pengeboran kedalam lubang bor. Inspeksi struktur Mast bertujuan untuk memastikan bahwa struktur mast dalam kondisi yang aman dan operasional, serta mematuhi standar keselamatan dan regulasi yang berlaku. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi terhadap inspeksi bagian mast pada rig kerja ulang sumur tipe portable mast dengan daya 350 Horsepower. Kekuatan mast dihitung menggunakan metode Finite Element Analysis (FEA) agar dapat menunjukkan potensi adanya penurunan kekuatan rig mast pada bagian mast akibat pembebanan. Hasil Finite Element Analysis pada pemberian beban maksimal sebesar 200.000 lbf menunjukkan bahwa optimum compression stress yang terjadi pada bagian lower mast senilai 12,4 kgf/mm<sup>2</sup>, dimana nilai tersebut mendekati tetapi tidak melebihi allowable stress senilai 12,6 kgf/mm<sup>2</sup>. Pemberian beban maksimal 120.000 lbf mendapatkan hasil optimum compression stress yang terjadi pada bagian lower mast senilai 7,31 kgf/mm<sup>2</sup>. Secara keseluruhan, hasil simulasi tidak menunjukkan nilai stress melebihi safety criteria berdasarkan allowable stress.

### ABSTRACT

*The mast structure of a mobile rig for drilling and the workover well services play an important role in supporting the operation of lifting and lowering drilling equipment into the borehole. Mast structure inspections aim to ensure that mast structure is in safe and operational condition, and complies with applicable safety and regulatory standards. This study aims to evaluate the inspection of the mast section on a portable mast with a 350 Horsepower. The mast strength is calculated using the Finite Element Analysis (FEA) method in order to show the potential for a decrease in the strength of the mast rig on the mast due to working loads. The results of the Finite Element Analysis at the maximum load of 200,000 lbf showed that the optimum compression stress that occurred in the lower mast was 12.4 kgf/mm<sup>2</sup>, where this value approached but did not exceed the allowable stress of 12.6 kgf/mm<sup>2</sup>. A maximum load of 120,000 lbf obtained the optimum compression stress that occurred in the lower mast worth 7.31 kgf/mm<sup>2</sup>. Overall, the simulation results did not show that the stress value exceeded the safety criteria based on allowable stress.*

© LPMGB - 2025

#### Korespondensi:

E-mail: [purnomosidi@akamigas.ac.id](mailto:purnomosidi@akamigas.ac.id) (Purnomosidi)

## PENDAHULUAN

Industri minyak dan gas bumi masih merupakan salah satu sektor vital dalam perekonomian global, menyediakan sumber daya energi yang sangat dibutuhkan untuk berbagai keperluan. Akan tetapi, *decline* produksi pasti dijumpai dalam suatu fasa kehidupan sumur migas. Oleh karena itu, Penggunaan Rig pada kegiatan *Workover well service* menjadi esensial. *Rig mast* berperan penting dalam kegiatan pengeboran dan *workover & well service* untuk mengangkat dan menurunkan pipa tubular dari dan ke dalam sumur.

*Rig* merujuk pada suatu peralatan khusus yang digunakan untuk mengakses sumur, melibatkan serangkaian proses yang mencakup pengeboran hingga perawatan Sumur (IADC 2000). *Rig* menunjukkan adanya variasi yang disesuaikan berdasarkan lokasi operasional dan tujuan tertentu yang ingin dicapai. Secara umum, *rig* dapat dibagi menjadi dua kategori tergantung pada lokasi di mana beroperasi, yaitu *rig* darat dan *rig* lepas pantai (*offshore rig*). *Rig* darat adalah kategori *rig* pengeboran yang beroperasi di wilayah daratan, dan jenis-jenis *rig* yang termasuk dalam kategori ini melibatkan Menara (*derrick*) standar, *rig* Portabel Mast, serta *rig jacknife* konvensional (IADC 2000). *Rig* lepas pantai merujuk pada struktur pengeboran minyak dan gas yang beroperasi di atas permukaan air, termasuk di rawa, sungai, danau, laut, atau delta sungai. Terdapat berbagai jenis *rig* lepas pantai yang dapat diklasifikasikan menyesuaikan *water depth* tempat *rig* beroperasi, yakni tipe Fixed Platform, Floating unit, Tension Leg Platform, Semi Submersible, ataupun *drillship* (Bourgoyne et al. 1991).

Dalam industri minyak dan gas bumi, inspeksi adalah proses penting pemeriksaan, pengawasan, dan evaluasi terhadap infrastruktur, peralatan, operasi, dan kepatuhan terkait kegiatan eksplorasi, produksi, perawatan, pengolahan, penyimpanan, transportasi, dan distribusi minyak dan gas bumi. Selain itu, juga untuk memastikan integritas, keamanan, dan keandalan infrastruktur dan peralatan yang terlibat dalam produksi, pengolahan, penyimpanan, dan transportasi minyak dan gas bumi (Ramli 2021).

Tujuan utama inspeksi migas adalah memastikan keamanan, kepatuhan terhadap peraturan dan standar, serta kinerja yang efisien. Inspeksi dilakukan

untuk mengidentifikasi dan mencegah potensi kegagalan, kerusakan, atau masalah lain yang dapat mengakibatkan kecelakaan, kerugian finansial, atau dampak negatif lainnya (ESDM 2021).

*Finite Element Method* atau FEM pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950 (Zienkiewicz & Taylor 2000). Sejak saat itu, metode ini terus mengalami perkembangan hingga sekarang. Kini, FEM telah menjadi alat canggih yang digunakan untuk menyelesaikan berbagai masalah teknik dan telah diterima secara luas dalam berbagai industri .

FEM adalah metode analisis yang membagi sistem yang dianalisis menjadi elemen-elemen kecil dengan bentuk sederhana. Elemen-elemen ini terdiri dari beberapa nodal yang saling berhubungan (Zienkiewicz & Taylor 2000). FEM sangat bermanfaat dalam berbagai aplikasi, termasuk di industri minyak dan gas, khususnya untuk analisis struktur *Rig Mast*. FEM memungkinkan analisis dan evaluasi menyeluruh dapat dilakukan sebelum operasi *Rig Mast* dilakukan secara nyata. Metode ini bekerja dengan menganalisis objek kerja yang dibagi menjadi bagian-bagian kecil yang lebih mudah dianalisis.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan inspeksi struktural terhadap bagian Mast *Rig* dengan fokus pada aspek-aspek kritis yang dapat mempengaruhi kinerja dan keamanan.

Diharapkan bahwa hasil dari studi ini dapat memberikan peningkatan pemahaman yang lebih mendalam dan komprehensif mengenai kekuatan struktur Mast tipe *Portable Rig* terhadap beban kerja yang diberlakukan secara rutin dalam suatu kegiatan operasi kerja Ulang dan Perawatan (WOWS) Sumur.

## BAHAN DAN METODE

### Lokasi penelitian

Penelitian kali ini dilakukan terhadap *Rig MHR#X Work Over Rig 350 Horsepower* bertipe Mobile *Rig* (Telescopic), tinggi Mast 95,01 ft dan daya 350 HP. *Manufacturer Hook Load Capacities* 96,16 Metric Ton (1" : 6 line). *Manufacturer* IDECO Rambler Tahun 1991.

*Rig MHR#X Work Over Rig 350 Horsepower* merupakan jenis *rig* yang memiliki kapasitas daya 350 HP cocok untuk mengatasi tantangan teknis dalam mengangkat dan menurunkan peralatan pipa tubular sekaligus cukup lincah dalam aktivitas

Rig up/down dan *moving* pemindahan lokasi Rig antar sumur, sehingga mendukung berbagai tugas perbaikan dan pemeliharaan pada sumur minyak dan gas.

Adapun beberapa prosedur dalam finite element method ini yaitu: modelling, input data, running dan analisa hasil simulasi. Pada tahap Modelling, penulis membangun model struktur Rig Mast berdasarkan hasil pengukuran dimensi, menggunakan *software* CAD. Tahap ini melibatkan representasi detail dari struktur yang akan dianalisis untuk memastikan bahwa semua elemen yang relevan disertakan dan diukur dengan tepat.

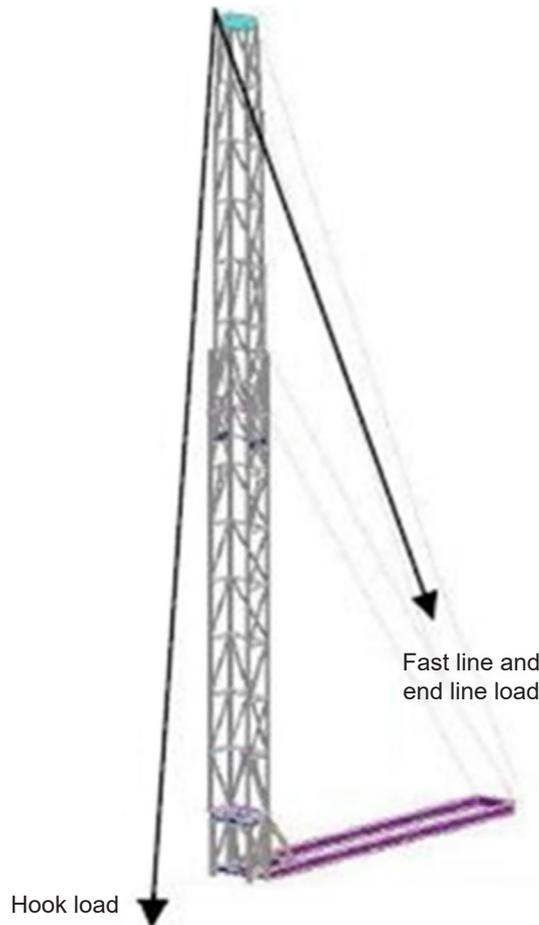
Setelah pemodelan selesai, langkah berikutnya adalah memasukkan data yang diperlukan, termasuk beban yang akan diterapkan pada struktur serta kondisi batas yang menentukan bagaimana struktur tersebut berinteraksi dengan lingkungannya. Data ini penting untuk mensimulasikan kondisi nyata yang akan dihadapi oleh *rig mast*. Setelah semua parameter dan data dimasukkan ke dalam *software* CAD, proses selanjutnya adalah menjalankan

simulasi menggunakan *software* tersebut. Hasil dari proses ini akan berupa analisis detail dari perilaku struktur berdasarkan *input* yang diberikan. Langkah terakhir adalah menganalisis data yang dihasilkan. Analisis ini bertujuan untuk memahami dampak dari beban yang diterapkan terhadap struktur *rig mast*. Dari hasil analisis ini, penulis kemudian menarik kesimpulan yang mencakup evaluasi tentang dampak dari beban yang diterapkan terhadap struktur Rig Mast MHR#X mencakup evaluasi tentang kekuatan, stabilitas, dan kinerja Rig Mast di bawah kondisi beban tertentu.

## HASIL DAN DISKUSI

### *Finite element method (fem)*

*Finite Element Model* (FEM) seperti yang ditampilkan pada Gambar 1 dibuat berdasarkan data NDT. Seluruh spesifikasi beam dihitung dan dibuat dengan menggunakan ketebalan minimum yang terukur dari *dimentional measurement*.



Gambar 1. *Finite element model of Rig#X mast*

Adapun dilakukan asumsi permodelan sebagai berikut :

- Koneksi antara menara dan rangka adalah sambungan kaku / elemen rigid.
- Semua bagian beam dihitung dengan menggunakan ketebalan minimum yang terukur.
- Konfigurasi kemiringan Menara adalah 2 derajat ke arah sumur.
- Panah Hookload diasumsikan sebagai drilling line yang diberi beban atau mengangkat beban pengetesan (*dead line* dan *fast line* dengan konfigurasi 1” – 6 lines).
- Berat Crown Block Assembly 2 ton.
- Berat Traveling Block 4 ton.
- Kondisi Terbatas:
  - Supporting points dikonstruksi sebagai tumpuan PIN.
  - Bagian Crown Block diasumsikan sebagai elemen baku/rigid.
  - Beban yang digunakan untuk perhitungan, memperhatikan jumlah drilling line, fast line dan dead line.
- Kriteria Penerimaan :
  - API Spec 4F
  - API RP 4G

- AISC chapter E
- Allowable Tension Stress

$$\sigma_t = 0,6 F_y \quad (1)$$

- Allowable Shear Stress

$$\tau_s = 0,4 F_y \quad (2)$$

- Allowable compressive stress (*buckling criteria*) merujuk pada AISC Chapter E adalah  $< 18.000 \text{ psi}$ .

Dimana,  $\sigma_t = \text{Tension Stress}$ , dengan satuan  $F_y$  (*Yield Stress*);  $\tau_s = \text{Ultimate Tensile Strength}$ , dengan satuan  $F_y$  (*Yield Stress*).

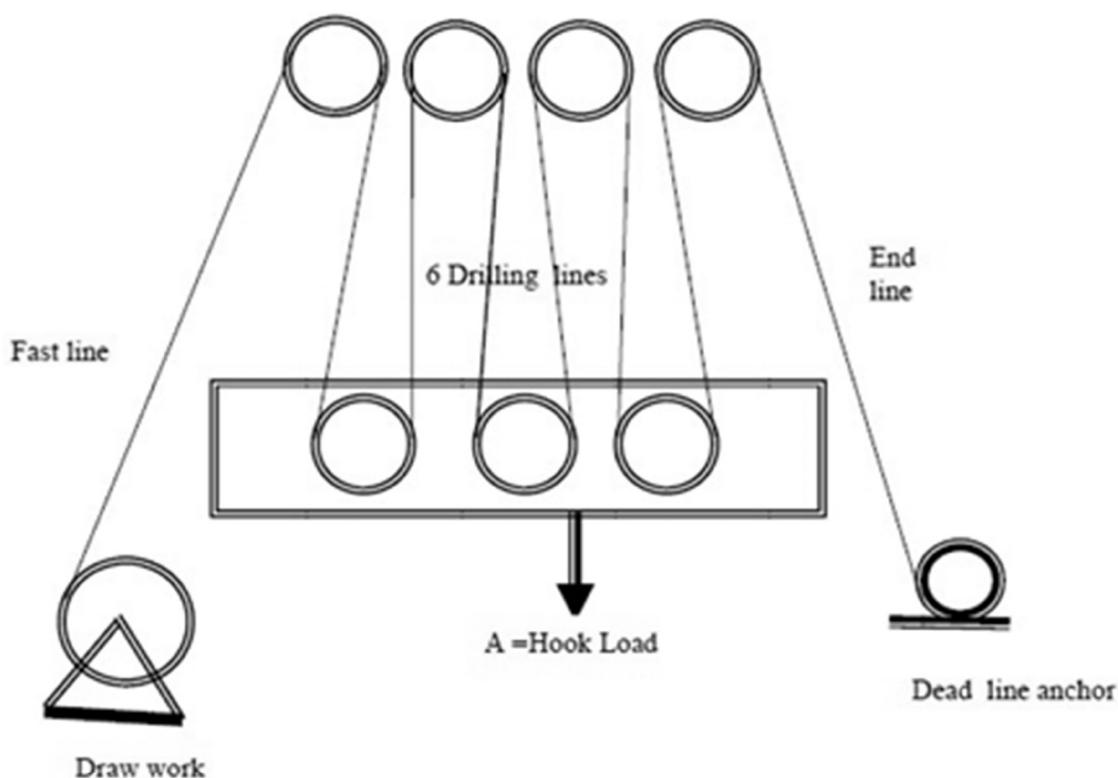
### Load calculation

#### Static hook load

Untuk *Finite Element Analysis* (FEA), *static hook load* mewakili kondisi pembebanan aktual yang diterapkan pada simpul tengah *crown block*. Beban yang diterapkan tergantung pada jumlah *drilling line* yang dipasang pada *traveling block* dan *crown block* melalui *drawwork*.

Perhitungan beban mengikuti persamaan berikut:

$$C = \frac{A}{B} \quad (3)$$



Gambar 2. Skema *drilling line*

$$D = (B + 2) \times C \quad (4)$$

Dimana,

A = *Static Hook Load*

B = Jumlah *drilling line* yang terpasang

C = *Average tension per line*

D = *Derrick or mast load*

*Drilling line* yang terpasang pada *rig* BMS#X adalah 1" – 6 lines, Beban maksimum yang bisa ditangani oleh *drilling line* adalah 180.000 lbs (berdasarkan API RP 9A) [2]. Gaya yang bisa di tahan oleh satu *drilling line / average tension per line* adalah:

$$C = \frac{180.000}{6} \quad (5)$$

$$C = 30.000 \text{ lbs}$$

Beban yang diaplikasikan pada menara adalah:

$$D = (6+2) \times 30.000 \text{ lbs} \quad (6)$$

$$D = 240.000 \text{ lbs}$$

Jadi total beban yang digunakan untuk perhitungan adalah 240.000 lbs (~109 ton).

### **Wind load**

Penerapan *wind load* mengasumsikan bahwa *wind load* diterapkan pada area terekspos di dua sisi *rig* yang berhadapan langsung dan juga pada *setback pipe* di belakang *rig*. Tekanan angin merupakan fungsi dari kecepatan, luas penampang dan fungsi bentuk yang dihitung sebagai berikut (API Specification 4F Section 7.2.1):

$$P=0,00338 \times V^2 \times C \times C_s \quad (7)$$

Dimana :

$V_k^2$  = kecepatan angin

Ch= koefisien ketinggian (1.1)

Cs= koefisien bentuk (1.25)

Beban angin diaplikasikan sebagai beban yang terdistribusi terhadap seluruh permukaan yang terpapar angin. Berdasarkan API Spec 4F Section 7.2.1, nilai dari pada tekanan (P) kecepatan angin 60 Knot adalah sebesar 11,76 lbf/ft<sup>2</sup> (57,4 kg/m<sup>2</sup>)

### **Rig up load/dead load**

Saat *rig up/rig down*, *mast* dapat diasumsikan sebagai struktur kantilever. Selama proses tersebut, akan terjadi beban yang cukup besar pada struktur

kantilever karena berat *mast* itu sendiri (*dead load*), demikian juga beban dari *traveling block* dan peralatan lainnya. *Dead load* yang diterapkan adalah beban terdistribusi dan berat *traveling block* serta komponen lainnya yang terpasang pada *rig*.

### **Uji pembebanan rig mast**

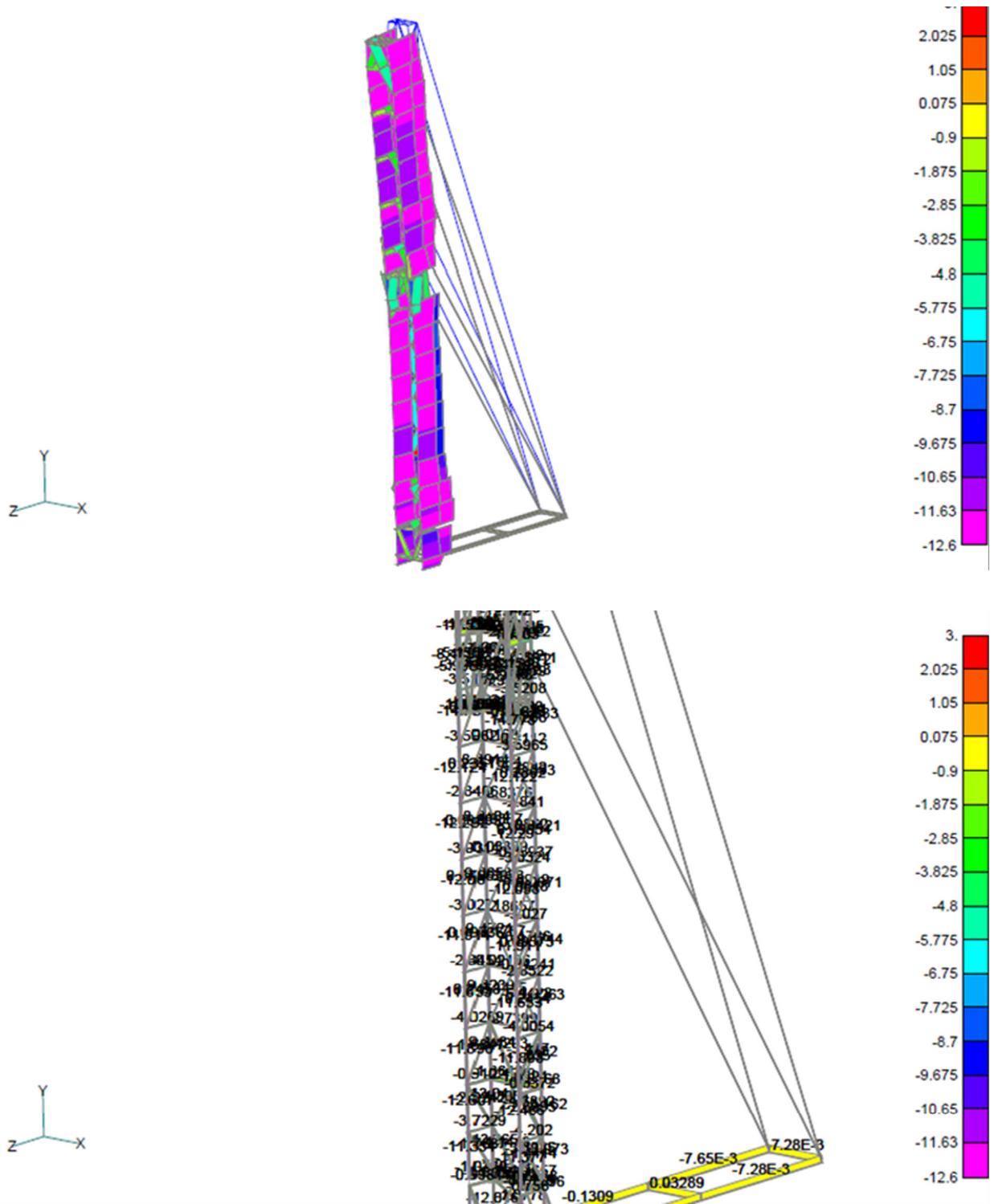
Mengacu kepada Standar API Spec 4 F Section 6 yang menjelaskan mengenai design loading, Perhitungan yang dilakukan meliputi: 1).Beban *hook load* 200.000 lbf, 100% *manufacturer design mast hook load capacity* yang akan disimulasikan; 2).Beban *hook load* 120.000 lbf, 60% *manufacturer design mast hook load capacity* yang akan disimulasikan; 3). Beban *hook load* 42.000 lbf, 23% *manufacturer design mast hook load capacity* yang akan disimulasikan, dan diaplikasikan pada *real field measurement*; 4). Beban akibat *wind load* pada *wind velocity* sebesar 60 Knot yaitu 11,76 lbf/ft<sup>2</sup> (57,4 kg/m<sup>2</sup>); 5). Beban akibat *rig up/dead load*.

Hasil *Finite Element Analysis* pada pemberian beban maksimal sebesar 200.000 lbf atau sebesar 82.000 kgf mendapatkan hasil optimum *compression stress* yang terjadi pada bagian lower mast senilai -12,4 kgf/mm<sup>2</sup>, dimana nilai tersebut mendekati tetapi tidak melebihi *allowable stress* senilai 12,6 kgf/mm<sup>2</sup>.

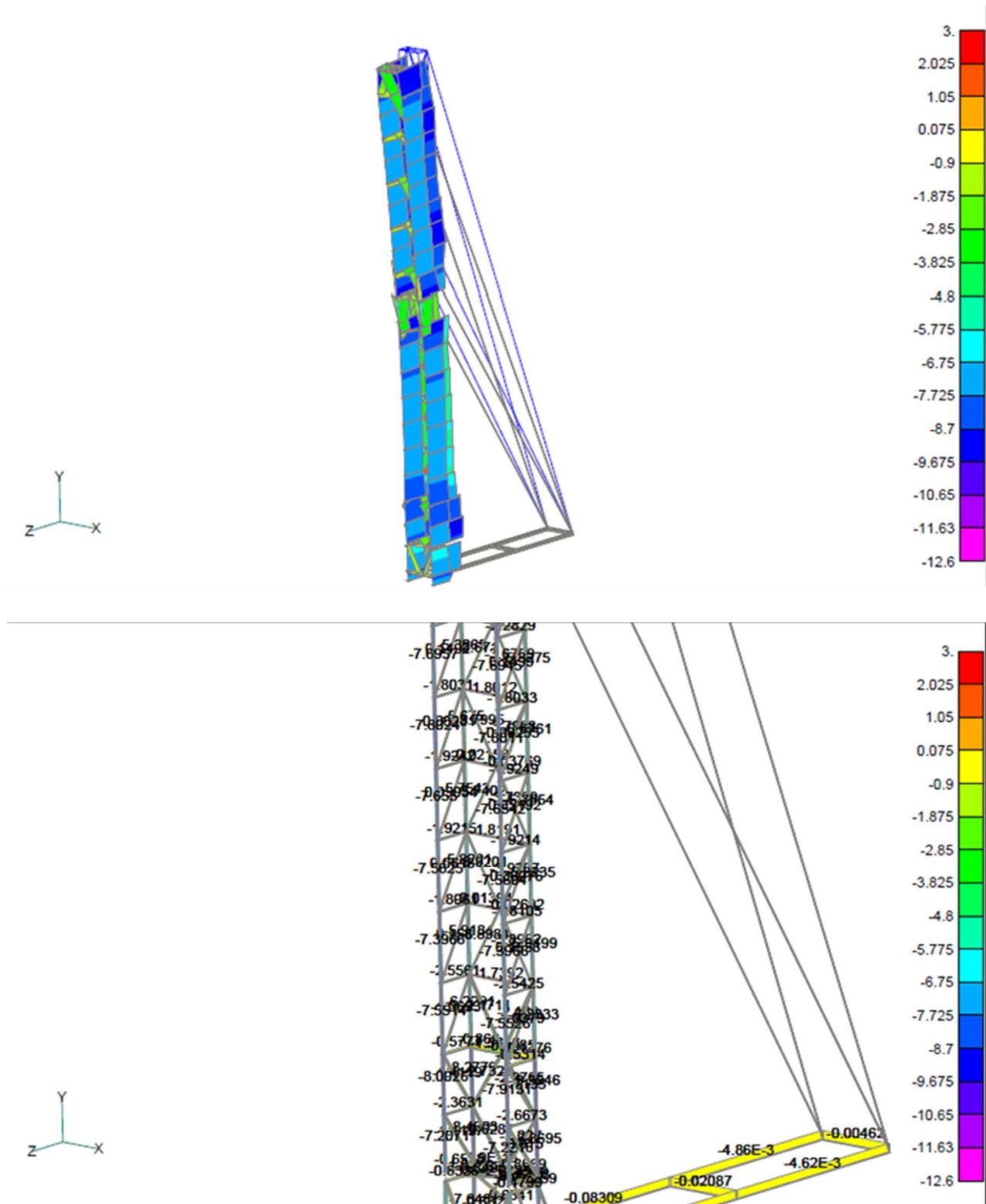
Hasil *Finite Element Analysis* pada pemberian beban maksimal sebesar 120.000 lbf atau sebesar 54.600 kgf mendapatkan hasil optimum *compression stress* yang terjadi pada bagian lower mast senilai -7,31 kgf/mm<sup>2</sup>, dimana nilai tersebut tidak melebihi atau lebih kecil dari nilai *allowable stress* senilai 12,6 kgf/mm<sup>2</sup>.

Hasil *Finite Element Analysis* pada pemberian beban maksimal sebesar 120.000 lbf atau sebesar 19.000 kgf mendapatkan hasil optimum *compression stress* yang terjadi pada bagian lower mast senilai -2,54 kgf/mm<sup>2</sup>, dimana nilai tersebut tidak melebihi atau jauh lebih kecil dari nilai *allowable stress* senilai 12,6 kgf/mm<sup>2</sup>.

Hasil *Finite Element Analysis* pada pemberian *wind load* (beban terdistribusi sebesar 11,76 lbf/ft<sup>2</sup> atau sebesar 57,4 kg/m<sup>2</sup>) mendapatkan hasil optimum *compression stress* yang terjadi pada bagian lower mast senilai ±11,17 kgf/mm<sup>2</sup>, dimana nilai tersebut tidak melebihi atau lebih kecil dari nilai *allowable stress* senilai 12,6 kgf/mm<sup>2</sup>.

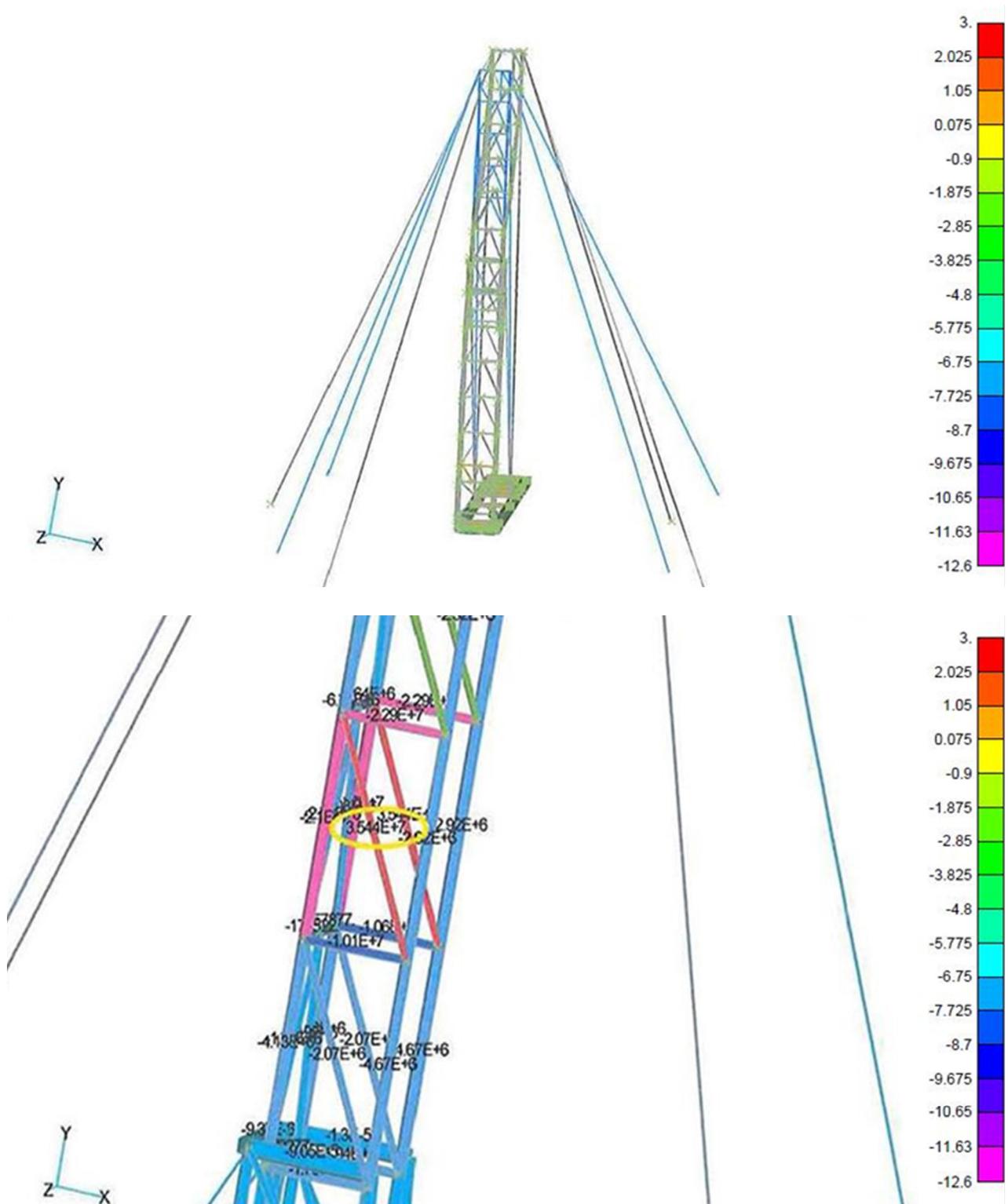


Gambar 3. Hasil FEA dengan beban maksimum

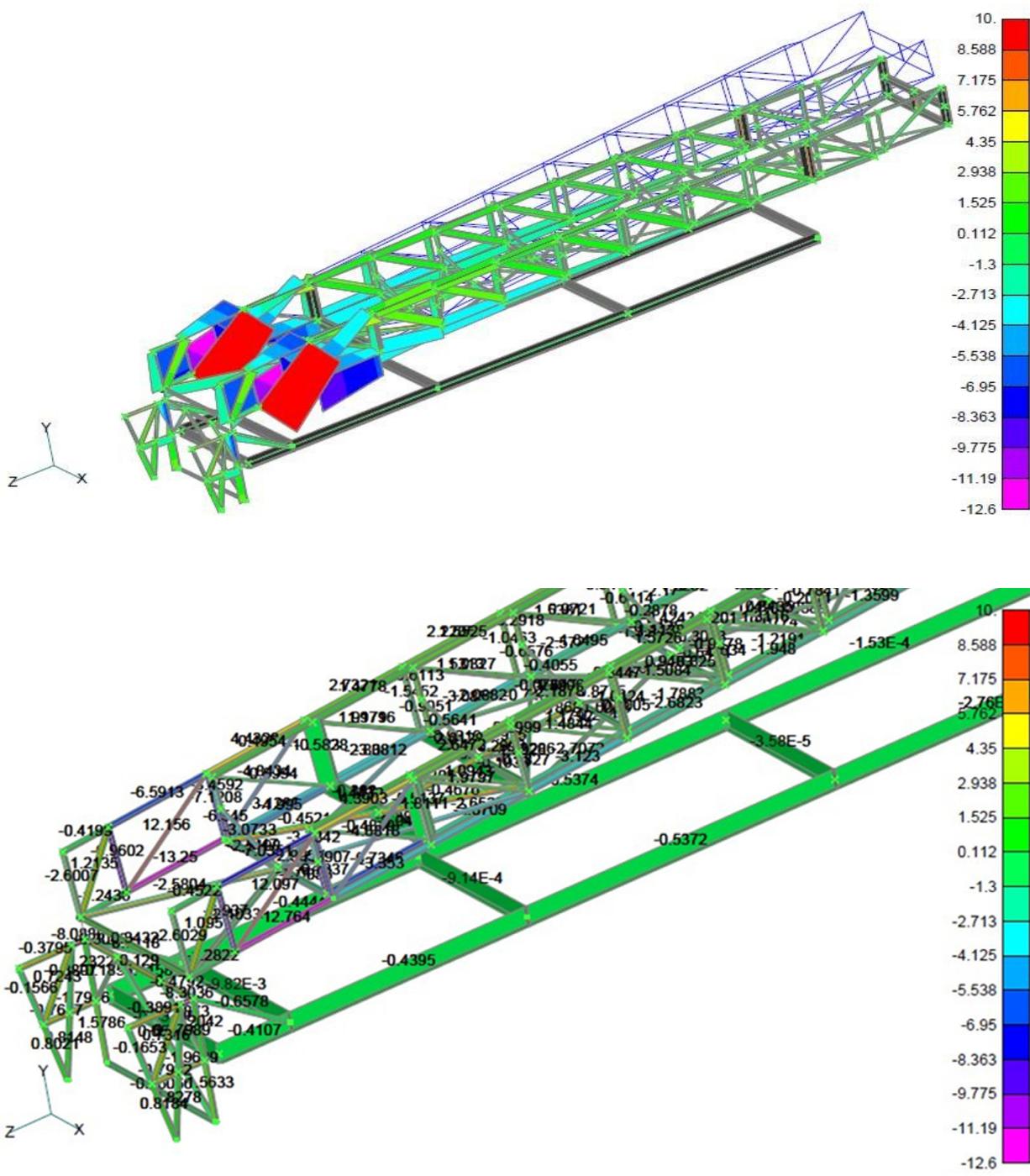


Gambar 4. Hasil FEA dengan beban 120.000 lbs





Gambar 6. Hasil FEA akibat wind load



Gambar 7. Hasil FEA akibat beban *rig up*

Hasil *Finite Element Analysis* pada pemberian *rig up load* (beban terdistribusi dari berat mast itu sendiri) mendapatkan hasil optimum *compression stress* yang terjadi pada bagian *lower mast* senilai  $\pm 9,20 \text{ kgf/mm}^2$ , dimana nilai tersebut tidak melebihi atau lebih kecil dari nilai *allowable stress* senilai  $12,6 \text{ kgf/mm}^2$ .

Tabel 1. Nilai tegangan optimum

Load Case (lbf)		Optimum Stress Kg/mm <sup>2</sup>
Hook Load	Mast Load	
200.000	240.600	12,44
120.000	160.000	7,31
42.000	56.000	2,54
<b>Load Case</b>		
<b>Wind Load (11,76 lbf/ft<sup>2</sup>)</b>		11,17
<b>Rig Up Load (Dead Load)</b>		9,20

**Hasil finite element analysis simulation**

Evaluasi dilakukan terhadap model rig agar *working stress* tetap berada pada nilai *allowable stress value*. Rangkuman *optimum compression stress* hasil simulasi FEA diberikan pada tabel berikut. Berdasarkan simulasi komputer akhir, tegangan pada struktur sebagian besar merupakan tegangan kompresi untuk semua kasus pembebanan.

Tabel 1 diatas menjelaskan tentang summary simulasi yang dilakukan pada *Rig Mast MHR#X*, dimana memiliki *case* dengan *hook load* (beban yang diterima oleh *drilling line*) tertulis dan juga *mast load* (beban yang diterima oleh menara) tertulis, kemudian nilai *stress optimal* yang terjadi pada setiap *case* dilampirkan berdasarkan hasil simulasi yaitu pada *case 100% load* (200.000 lbf *hook load* / 240.000 lbf *mast load*) didapat hasil sebesar  $-12,44 \text{ Kg/mm}^2$ , pada *case 60% load* (120.000 lbf *hook load* / 160.000 lbf *mast load*) didapat hasil sebesar  $-7,31 \text{ Kg/mm}^2$ , dan terakhir pada *case 23% load* (42.000 lbf *hook load* / 56.000 lbf *mast load*) didapat hasil sebesar  $-2,54 \text{ Kg/mm}^2$ . Hasil simulasi tidak menunjukkan nilai *stress* melebihi *safety criteria* yang telah dihitung dan ditentukan berdasarkan standar yang berlaku, tetapi pada *case* pembebanan *100% load* didapati hasil yang hampir mendekati *allowable stress* yang mungkin menjadi pertimbangan saat melakukan pembebanan aktual.

**KESIMPULAN DAN SARAN**

Berdasarkan hasil inspeksi struktural rig mast BMS#X, dapat disimpulkan bahwa, nilai *stress* tertinggi atau optimum akibat beban *hook load* sebesar 200.000 lbf atau sebesar 82.000 kgf yang terjadi pada bagian dari *lower mast* adalah senilai  $-12,4 \text{ kgf/mm}^2$ . Nilai *stress* tertinggi atau optimum akibat beban *wind load* (beban terdistribusi sebesar 11,76 lbf/ft<sup>2</sup> atau sebesar 57,4 kg/m<sup>2</sup>) yang terjadi pada bagian dari *lower mast* adalah senilai  $\pm 11,17 \text{ kgf/mm}^2$ . Nilai *stress* tertinggi atau optimum akibat beban *rig up load* (beban terdistribusi dari berat mast itu sendiri) yang terjadi pada bagian dari *lower mast* adalah senilai  $\pm 9,20 \text{ kgf/mm}^2$ .

Dari hasil inspeksi struktural *rig mast 350 HP MHR#X* diatas ternyata seluruh nilai *stress optimum* pada setiap pembebanan tersebut memiliki nilai yang mengindikasikan tegangan maksimum yang muncul masih dibawah nilai *allowable stress* 12,6 kgf/mm<sup>2</sup>, sehingga dapat disimpulkan bahwa Menara rig MHR#X tersebut layak untuk digunakan pada pemberian beban ataupun beroperasi.

**UCAPAN TERIMA KASIH**

Terima kasih kepada kepada seluruh pihak yang turut membantu tersedianya data dan penulisan artikel ini.

**DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN**

Simbol	Definisi	Unit
$\sigma_t$	Tension Stress	
$\tau_s$	Ultimate Tensile Strength	
A	Static Hook Load	
B	Jumlah Drilling Line	
C	Average tension per line	
D	Derrick or mast load	
$V_k^2$	Kecepatan angin	
Ch	Koefisien ketinggian (1.1)	
Cs	Koefisien bentuk (1.25)	

### KEPUSTAKAAN

- American Petroleum Institute, 1995, Specification 4F, Specification for Drilling and Well Servicing Structures. Washington, D.C: API Publishing Services.*
- American Petroleum Institute, 1998, Specification 9A, Specification for Wire Rope. Washington, D. C: API Publishing Services.*
- American Institute of Steel Construction, 2016, Specification for Structural Steel Buildings. Chicago: American National Standards Institute.*
- Bourgoyne, Jr., Adam. T., Millheim. Keith K., Chenvert. Martin. E., Young Jr. F.S., 1991, "Applied Drilling Engineering". Society Of Petroleum Engineers.*
- IADC, 2000, "IADC Drilling Manual. International Association of Drilling Contractors.
- Kementerian ESDM, 2021, "Peraturan Menteri Energi dan Sumberdaya Mineral Nomor 32 Tahun 2021. Kementerian ESDM.
- Ramli, Soehatman, 2011, "Manajemen Keselamatan Proses Berbasis Risiko Prosafe.
- Taylor, R.L., & Zienkiewicz. O.C., 2000, "Finite Element Method". 5th Edition. Butterworth Heinemann.