

Analisa Kekuatan Statik Struktur Penopang Rig Servis Sumur Minyak

Muhammad Aryo Widagdo^{1*} dan Suharsono²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta

* Corresponding author: muhammadayo@gmail.com

Abstrak. Industri minyak dan gas merupakan industri yang sangat potensial. Namun, pada tahun 2016 harga minyak mentah mengalami penurunan yang sangat signifikan. Kondisi ini mengharuskan perusahaan – perusahaan kontraktor minyak dan gas untuk saling berkompetisi untuk memberikan harga terbaik. Berbagai macam inovasi dilakukan untuk mendapatkan metode dalam menjalankan operasi pekerjaan yang efektif dan efisien. Oleh karena itu dibuatlah struktur penopang RIG untuk menjadikan RIG *offshore* menjadi RIG *onshore*. Sebelumnya, penopang RIG harus mampu dibuktikan kekuatannya secara perhitungan dengan mengacu pada standar internasional yang digunakan di industri minyak. Dalam perhitungan, yang dijadikan parameter keberhasilan adalah tegangan yang terjadi. Perhitungan dilakukan menggunakan Solidworks 2016. Sebelumnya, Solidworks 2016 diverifikasi terlebih dahulu dengan membandingkan-nya dengan perhitungan teoritis. Hasil dari verifikasi menunjukkan bahwa tidak ada defiasi antara kedua jenis perhitungan. Setelah itu pemodelan 3D struktur penopang RIG dibuat yang dilanjutkan dengan menentukan *constraint*, pembebanan dan *meshing*. Hasil kalkulasi menunjukkan bahwa struktur penopang RIG mengalami tegangan terbesar sebesar 92,29 MPa dan defleksi maksimum sebesar 6,62 mm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa struktur penopang RIG aman untuk digunakan sesuai beban operasi dengan angka keamanan terkecil sebesar 2,68.

Kata kunci: Struktur RIG; Solidworks; Analisa Tegangan.

© 2019. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Industri minyak merupakan industri yang sangat potensial baik di Indonesia maupun di dunia. Dengan banyaknya kebutuhan pasar terhadap minyak dan gas membuat harga minyak mentah menjadi tinggi hingga minyak mentah dijuluki sebagai “emas cair”. Pada tahun 2016 harga minyak mentah mengalami penurunan yang sangat signifikan. Amerika Serikat sebagai importir minyak mentah terbesar di dunia, menurunkan ketergantungan impor minyak mentah dikarenakan oleh perkembangan teknologi *shale oil*

Kondisi ini mengharuskan perusahaan-perusahaan kontraktor minyak dan gas untuk saling berkompetisi untuk memberikan harga terbaik dalam pemenuhan kebutuhan perusahaan minyak. Berbagai macam inovasi dilakukan untuk mendapatkan metode dalam menjalankan operasi pekerjaan yang efektif dan efisien.

Salah satu inovasi yang dilakukan adalah menggunakan RIG *offshore* yang dimodifikasi menjadi dapat digunakan untuk area *onshore*. Pada RIG *offshore*, struktur RIG ditopang langsung oleh *Blow Off Preventer* (BOP) sedangkan pada sumur minyak di area *onshore* hal ini tidak dapat dilakukan

karena pada sumur minyak *offshore*, sumur ditopang oleh struktur pada *deck platform* sedangkan pada sumur minyak *onshore*, tidak terdapat struktur penopang yang akan menopang beban yang ditimbulkan pada saat sedang dilakukan pekerjaan servis sumur. Untuk melakukan pekerjaan tersebut dibuatlah struktur untuk menopang RIG *offshore* pada area *onshore*. Inovasi tersebut dapat memperkecil biaya investasi untuk membeli unit RIG *onshore* hingga 92%.

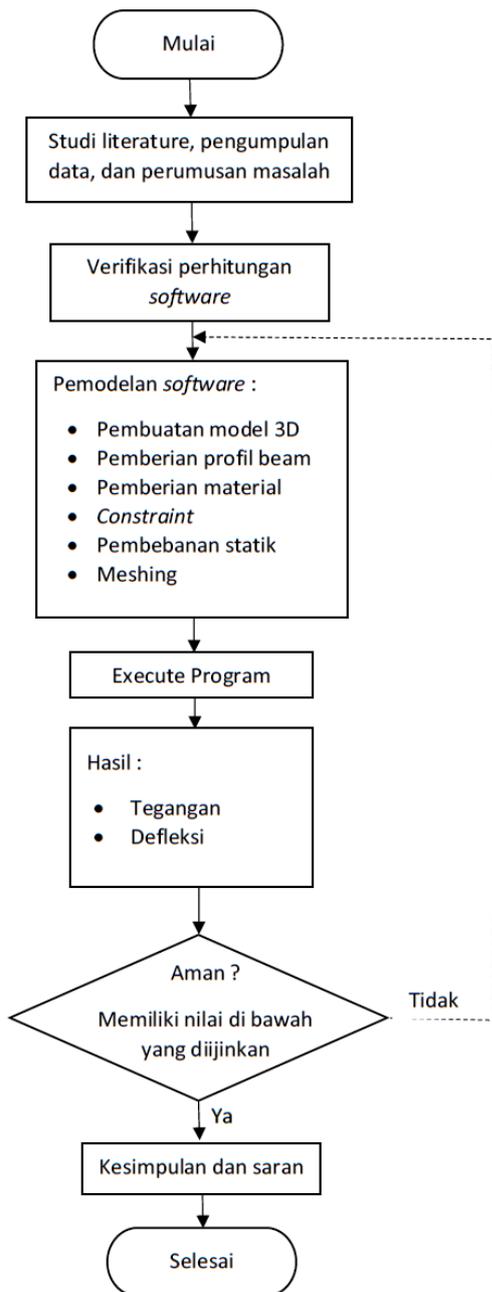
Dalam pemenuhan kebutuhan operasinya, penopang RIG sebagai peralatan penunjang operasi harus layak untuk digunakan. Standar keamanan di industri minyak dan gas yang tinggi mengharuskan setiap unit yang beroperasi memiliki standar keamanan yang sesuai dengan standar internasional yang digunakan yaitu *American Petroleum Institute* (API).

Tujuan dari penelitian ini adalah yang pertama untuk menganalisa efek yang ditimbulkan oleh pembebanan pada struktur penopang RIG yaitu berupa tegangan dan defleksi dengan mengacu pada standar internasional yang berlaku di industri minyak. Tujuan yang kedua adalah Menganalisa angka keamanan yang dimiliki oleh struktur

penopang RIG untuk mengetahui bagian yang paling berpotensi mengalami kegagalan.

Penelitian ini mencakup beberapa batasan masalah, yaitu analisa dilakukan menggunakan solidworks 2016 dengan metode linear statik; beban yang dimasukkan ke dalam perhitungan adalah berat RIG, beban operasi, dan beban angin; RIG yang digunakan adalah HWU 225K dengan beban operasi maksimum sebesar 102058 kg [1]; hasil yang dicari dalam analisa adalah tegangan dan defleksi pada struktur.

Metode Penelitian

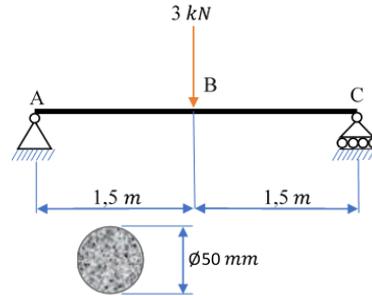


Gambar 1. Diagram alir penelitian.

a. Verifikasi Perhitungan Software

Verifikasi ini ditujukan untuk melihat deviasi yang terjadi dari hasil analisa yang dilakukan oleh software terhadap perhitungan teoritis. Verifikasi perhitungan software dilakukan dengan membandingkan dua metode perhitungan yaitu perhitungan teoritis dan perhitungan menggunakan solidworks 2016.

Dalam melakukan verifikasi ditentukan kasus sebagai berikut :



Gambar 2. Soal verifikasi software.

Struktur sepanjang 3m ditumpu oleh engsel di titik A dan di titik C (roll) seperti pada gambar 2. Struktur dibebani gaya sebesar 3 kN pada titik. Struktur memiliki bentuk silinder dengan diameter 50 mm dan memiliki material dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Standar material : ASTM A36
- Tegangan *tensile* (σ_t) : 400 MPa
- Modulus elastisitas (E) : 200000 MPa
- Tegangan *yield* (σ_y) : 250 MPa
- Masa jenis (ρ) : 7850 kg/m³

Perhitungan teoritis dilakukan berdasarkan pada teori dasar pada mekanika teknik seperti hukum kesetimbangan dan tegangan material [2].

$$\Sigma F_y = 0 \text{ dan } \Sigma M = 0.$$

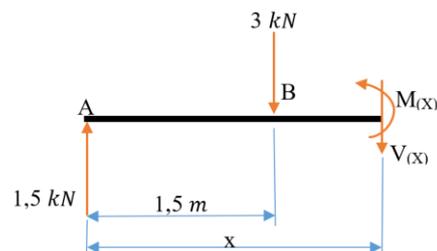
$$\Sigma M_A = -3 \text{ kN} (1,5 \text{ m}) + R_C (3 \text{ m}) = 0$$

$$R_C = 1,5 \text{ kN}$$

$$\Sigma F_y = R_A - 3 \text{ kN} + R_C = 0$$

$$R_A = 1,5 \text{ kN}$$

Tentukan momen maksimum dari struktur.



Gambar 3. Diagram momen potongan struktur.

$$\Sigma M_{Pot} = 0$$

$$M_x = 1,5x \text{ kNm} - 3 \text{ kN}(x - 1,5 \text{ m})$$

Maka didapatkan momen maksimum yaitu $M_B = 2,25 \text{ kNm}$

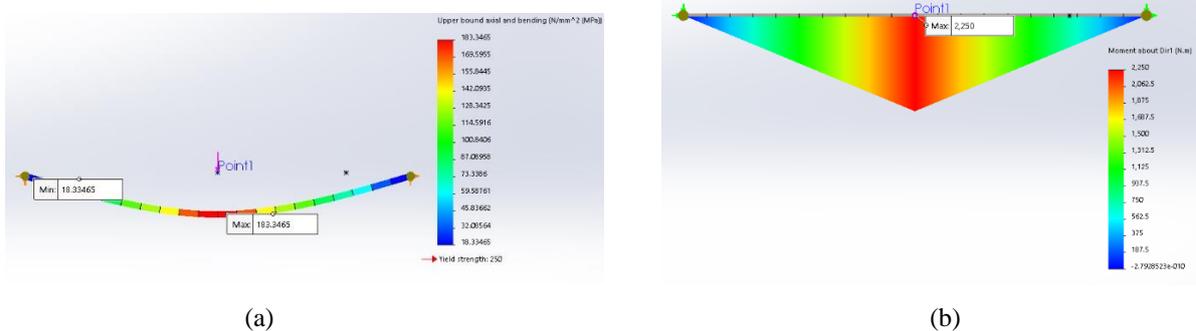
Kemudian tegangan maksimum dihitung dengan

Setelah dilakukan perhitungan menggunakan solidworks dan perhitungan teoritis, data-data hasil dari perhitungan dibuatkan ke dalam tabel.

Dapat disimpulkan bahwa antara perhitungan

Tabel 1. Perbandingan hasil perhitungan.

No.	Parameter Hasil	Perhitungan Solidworks	Perhitungan Teoritis
1	Tegangan material	183,3465 MPa	183,3465 MPa
2	Reaksi tumpuan	$R_A = 1,5 \text{ kN}$ $R_B = 1,5 \text{ kN}$	$R_A = 1,5 \text{ kN}$ $R_B = 1,5 \text{ kN}$
3	Momen maksimum	Titik B = 2,25 kNm	Titik B = 2,25 kNm



Gambar 4. Hasil kalkulasi solidworks: (a) tegangan; (b) diagram momen.

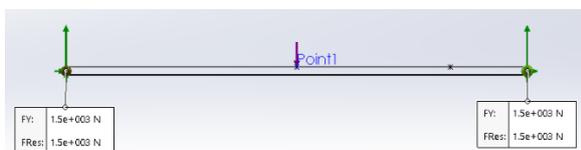
menggunakan momen maksimum

$$\sigma = \frac{M}{I} y = \frac{M}{\frac{\pi d^4}{64}} \left(\frac{d}{2}\right)$$

$$\sigma = 183,3465 \text{ MPa}$$

Berdasarkan hasil kalkulasi dari solidworks, didapatkan tegangan maksimum sebesar 183,3465 MPa dan tegangan minimum sebesar 18,3346 MPa. Sedangkan, tegangan yield dari material adalah sebesar 250 MPa.

Berdasarkan hasil kalkulasi dari Solidworks, gaya reaksi di titik A adalah sebesar 1500 N sedangkan gaya reaksi di titik C adalah sebesar 1500 N. Sedangkan diagram momen yang terjadi akibat gaya luar pada struktur adalah 2250 Nm seperti pada gambar 4 (b).



Gambar 5. Reaksi tumpuan titik A dan C.

solidworks dan perhitungan teoritis tidak ditemukan perbedaan nilai hasil perhitungan sehingga Solidworks terverifikasi untuk digunakan sebagai dasar perhitungan pada penelitian ini.

b. Skenario Analisa Perhitungan

Untuk merepresentasikan kondisi di lapangan, maka dibuat dua jenis skenario pembebanan yang dibedakan berdasarkan arah datangnya angin. Besarnya beban angin ditentukan dengan kecepatan angin yang diijinkan untuk RIG beroperasi yaitu sebesar 12,7 m/s [3]. Area yang diproyeksikan tegak lurus terhadap arah datangnya angin adalah 45,5 m² sesuai ukuran RIG dengan lebar 5 m dan tinggi 9,1 m. Densitas udara diasumsikan sebesar 1,22 kg/m³. Drag coefficient dari struktur RIG adalah 1 [4].

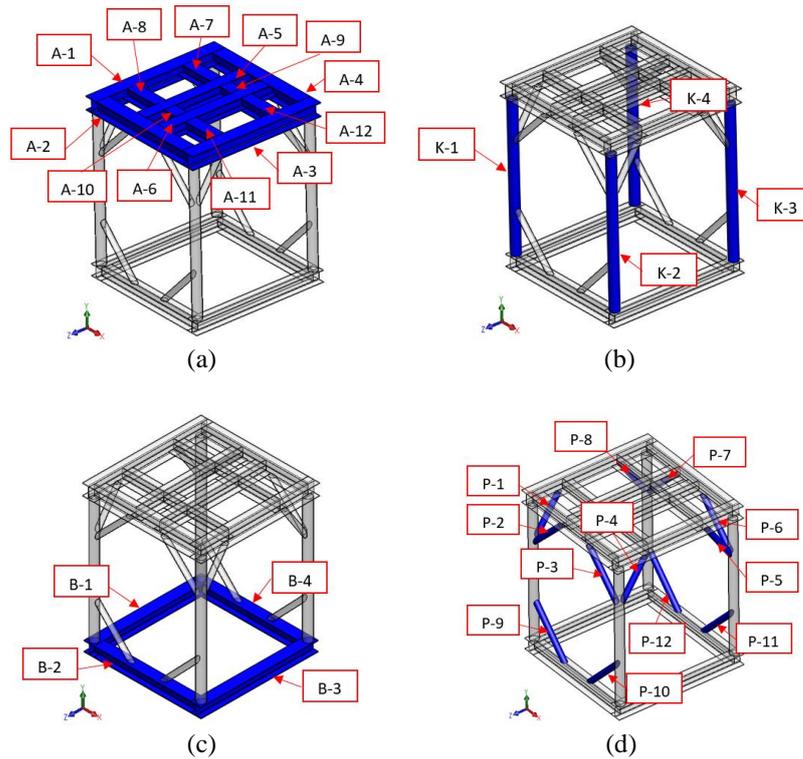
$$F = \frac{\rho}{2} \cdot u^2 \cdot C_D \cdot A \tag{1}$$

$$F = \frac{1,22}{2} \cdot 12,7^2 \cdot 1 \cdot 45,5 = 4476,6 \text{ N}$$

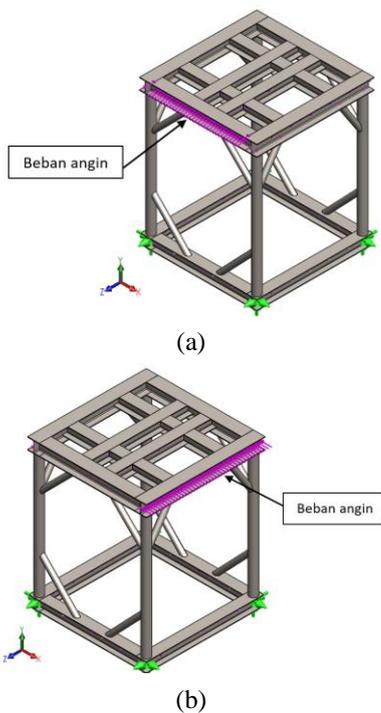
Pada skenario 1 beban angin direpresentasikan sebagai beban akibat adanya angin dari arah samping struktur, baik kanan maupun kiri. Pada skenario 2 beban angin direpresentasikan sebagai beban akibat adanya angin dari arah depan maupun belakang struktur. Gaya yang disebabkan oleh angin

akan diberikan di struktur beam paling atas secara merata terhadap web dari beam.

hingga didapatkan angka keamanannya sehingga



Gambar 6. Penentuan kode struktur: (a) struktur atas; (b) struktur kolom; (c) struktur bawah; (d) struktur penguat.



Gambar 7 Beban angin: (a) skenario 1; (b) skenario2.

Hasil

Struktur akan dibagi menjadi menjadi 4 bagian yaitu struktur atas, struktur kolom, struktur penguat, dan struktur bawah. Masing – masing bagian dianalisa berdasarkan tegangan material yang terjadi

dapat ditentukan bagian yang dijadikan fokus utama jika terjadi kegagalan. Penentuan kode struktur dapat dilihat pada gambar 6.

Sebelum melakukan analisis terlebih dahulu dilakukan *mesh convergence* untuk menentukan ukuran *mesh* yang digunakan dalam analisa. *Convergence* terjadi jika hasil yang dikeluarkan mengalami *mesh convergence* di bawah 1%. Mesh convergence ditentukan dengan cara membagi selisih tegangan maksimum antara mesh no. (n-1) dan mesh no. (n) dengan tegangan maksimum pada mesh no. (n-1) dikalikan 100%.

Hasil yang dikeluarkan oleh *software* adalah dalam bentuk momen sehingga untuk mencari tegangan material yang terjadi digunakan persamaan [5],

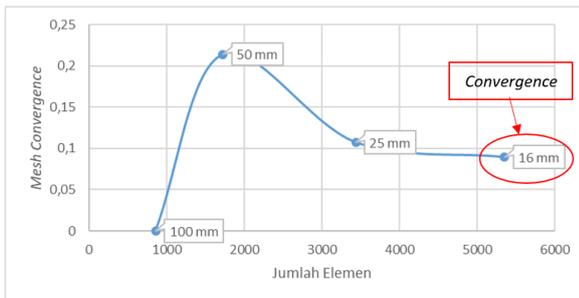
$$\sigma = \frac{M}{I} y \tag{2}$$

Tabel 2. Mesh convergence skenario 1.

No.	Ukuran Mesh	Jumlah Elemen	Jumlah DOF	Tegangan Maksimum	Mesh Convergence (%)
1	100 mm	862	4992	112,05 MPa	-
2	50 mm	1726	10176	111,81 MPa	0,21
3	25 mm	3440	20460	111,69 MPa	0,11
4	16 mm	5356	31932	111,59 MPa	0,09

a. Skenario 1

Pada tabel 2 dapat dilihat bahwa *convergence* sudah terjadi pada *mesh* dengan ukuran 50 mm. Akan tetapi, perubahan yang terjadi mengalami *mesh convergence* terendah hingga 0,09% pada *mesh* dengan perubahan ukuran antara 25 mm dengan 16 mm. Dengan demikian ukuran mesh 16mm dipilih untuk melakukan analisa pada skenario 1.

**Gambar 8.** Grafik mesh convergence skenario 1.

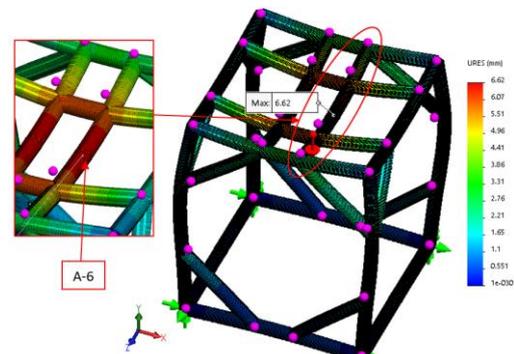
Pada struktur atas dengan kode A-9 didapatkan hasil analisis momen maksimum sebesar 210132 Nm yang terletak pada struktur dengan profil H-Beam 350×350×12×19 dengan inersia sebesar 398462859,22 mm⁴. Dengan demikian dapat ditentukan tegangan yang terjadi akibat momen menggunakan (2) yaitu sebesar 92,29 MPa.

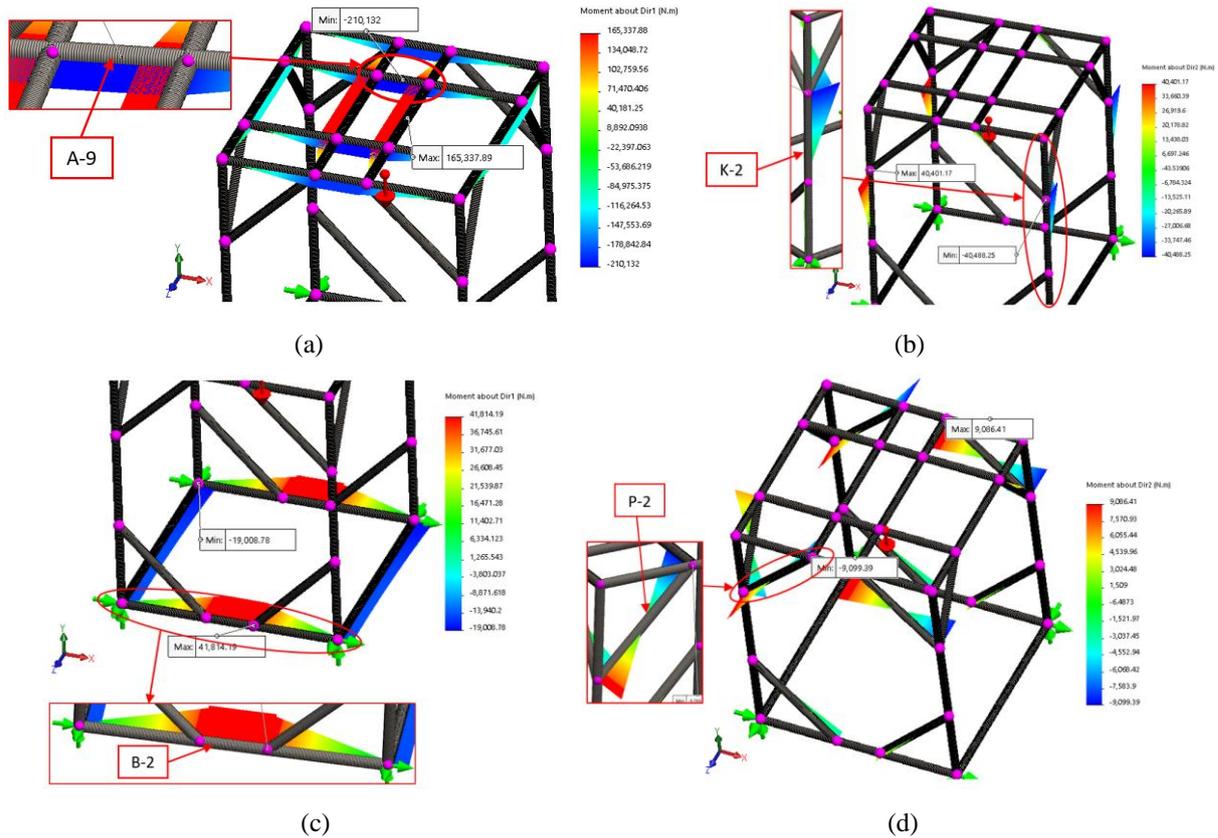
Pada struktur kolom momen terbesar terjadi pada kolom dengan kode K-2 yaitu sebesar 40488,25 Nm pada pertemuan antara struktur kolom dengan struktur penguat. Kolom K-2 memiliki profil pipa 10 inch XS dengan inersia sebesar 88220302,88 mm⁴. Dengan demikian dapat ditentukan tegangan yang terjadi akibat momen menggunakan (2) yaitu sebesar 62,66 MPa.

Pada struktur bawah momen terbesar terjadi pada struktur dengan kode B-2 yaitu sebesar 41814,19 Nm. Struktur B-2 memiliki profil H-Beam 350×350×12×19 dengan inersia sebesar 398462859,22 mm⁴. Dengan demikian dapat ditentukan tegangan yang terjadi akibat momen menggunakan (2) yaitu sebesar 18,36 MPa.

Pada struktur penguat momen terbesar terjadi pada struktur dengan kode P-2 yaitu sebesar 9099,39 Nm. Struktur P-2 memiliki profil pipa 6 inch XS dengan inersia sebesar 16853490,41 mm⁴. Dengan demikian dapat ditentukan tegangan yang terjadi akibat momen menggunakan (2) yaitu sebesar 45,43 MPa.

Defleksi paling besar terletak pada struktur atas dengan kode A-6 dimana semua beban pada struktur tertumpu pada struktur tersebut. Beban dengan berat total mencapai 150135 kg menyebabkan struktur atas mengalami defleksi sebesar 6,62 mm. Defleksi pada struktur pasti akan terjadi dengan limitasi batas kewajaran. Pada saat struktur sedang digunakan, defleksi akan menimbulkan ketidaknyamanan sehingga ditetapkan defleksi maksimum yang diperbolehkan adalah sebesar L/400 dari panjang struktur yang terdefleksi. Dari hasil analisis dapat dilihat jika defleksi maksimum terjadi pada struktur dengan panjang 3637 mm. Sehingga defleksi maksimum yang diperbolehkan dari struktur tersebut adalah sebesar 9,09 mm. Dengan demikian, defleksi yang terjadi masih berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan.

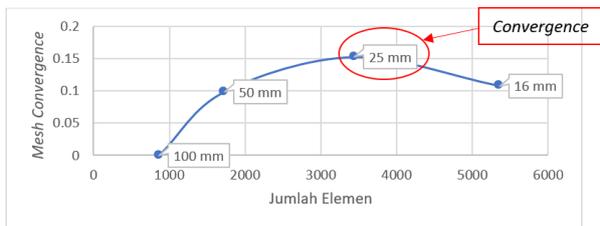
**Gambar 9.** Hasil defleksi pada skenario 1.



Gambar 10. Momen skenario 1: (a) struktur atas; (b) struktur kolom; (c) struktur bawah; (d) struktur penguat.

b. Skenario 2

Pada tabel 3 dapat dilihat bahwa *convergence* sudah terjadi pada *mesh* dengan ukuran 50 mm. *Mesh Convergence* yang terjadi mengalami kenaikan pada ukuran *mesh* 50 mm ke 25 mm dari 0,1% menjadi 0,15% dan mengalami penurunan pada ukuran *mesh* 25 mm ke 16 mm dari 0,15% menjadi 0,11%.



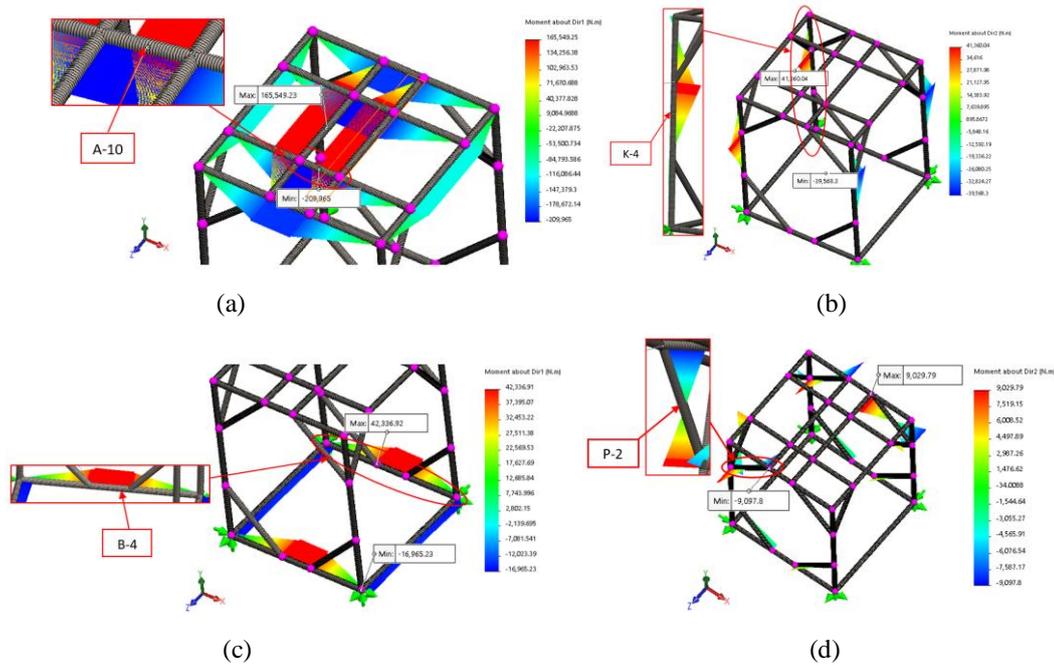
Gambar 11. Grafik *mesh convergence* skenario 2.

Pada struktur atas dengan kode A-10 didapatkan hasil analisis momen maksimum sebesar 209965 Nm yang terletak pada struktur dengan profil H-Beam 350×350×12×19 dengan inersia sebesar 398462859,22 mm⁴. Dengan demikian dapat ditentukan tegangan yang terjadi akibat momen menggunakan (2) yaitu sebesar 92,21 MPa.

Pada struktur kolom momen terbesar terjadi pada kolom dengan kode K-4 yaitu sebesar 41360,04 Nm pada pertemuan antara struktur kolom dengan struktur penguat. Kolom K-2 memiliki profil pipa 10 inch XS dengan inersia sebesar 88220302,88 mm⁴. Dengan demikian dapat ditentukan tegangan yang terjadi akibat momen menggunakan (2) yaitu sebesar 64,01 MPa.

Tabel 3. *Mesh convergence* skenario 2.

No.	Ukuran Mesh	Jumlah Elemen	Jumlah DOF	Tegangan Maksimum	Mesh Convergence (%)
1	100 mm	862	4992	111,64 MPa	-
2	50 mm	1726	10176	111,53 MPa	0,10
3	25 mm	3440	20460	111,36 MPa	0,15
4	16 mm	5356	31932	111,24 MPa	0,11

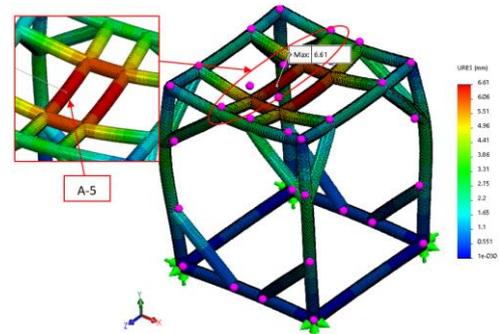


Gambar 12. Momen skenario 2: (a) struktur atas; (b) struktur kolom; (c) struktur bawah; (d) struktur penguat.

Pada struktur bawah momen terbesar terjadi pada struktur dengan kode B-4 yaitu sebesar 42336,92 Nm. Struktur B-2 memiliki profil H-Beam 350×350×12×19 dengan inersia sebesar 398462859,22 mm⁴. Dengan demikian dapat ditentukan tegangan yang terjadi akibat momen dengan menggunakan (2) yaitu sebesar 18,59 MPa.

Pada struktur penguat momen terbesar terjadi pada struktur dengan kode P-2 yaitu sebesar 9097,8 Nm. Struktur P-2 memiliki profil pipa 6 inch XS dengan inersia sebesar 16853490,41 mm⁴. Dengan demikian dapat ditentukan tegangan yang terjadi akibat momen dengan menggunakan (2) yaitu sebesar 45,42 MPa.

Defleksi paling besar terletak pada struktur atas dengan kode A-5 dimana semua beban pada struktur tertumpu pada struktur tersebut. Beban dengan berat total mencapai 150135 kg menyebabkan struktur atas mengalami defleksi sebesar 6,61 mm. Defleksi pada struktur pasti akan terjadi dengan limitasi batas kewajaran. Pada saat struktur sedang digunakan, defleksi akan menimbulkan ketidaknyamanan sehingga ditetapkan defleksi maksimum yang diperbolehkan adalah sebesar L/400 dari panjang struktur yang terdefleksi. Dari hasil analisis dapat dilihat jika defleksi maksimum terjadi pada struktur dengan panjang 3637 mm. Sehingga defleksi maksimum yang diperbolehkan dari struktur tersebut adalah sebesar 9,09 mm. Dengan demikian, defleksi yang terjadi masih berada di bawah batas maksimum yang diperbolehkan.



Gambar 13. Hasil defleksi pada skenario 2.

c. Angka Keamanan

Angka keamanan dapat ditentukan dengan cara membagi tegangan yield dari material yang digunakan dengan tegangan yang terjadi pada material sebagai akibat dari pembebanan. Semakin besar angka keamanan maka struktur memiliki keamanan yang lebih baik jika terdapat beban yang tidak diperhitungkan dalam analisa. Nilai angka keamanan pada struktur dapat dilihat pada tabel 4 dan tabel 5.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa dan perhitungan kekuatan statik struktur penopang RIG servis sumur minyak menggunakan Solidworks 2016 dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut :

Tabel 4. Angka keamanan skenario 1.

No.	Bagian Struktur	Material	Tegangan Yield	Tegangan Material	Angka Keamanan
1	Struktur atas	JIS G3101 SS400	248 MPa	92,29 MPa	2,68
2	Struktur kolom	JIS G3101 SS400	248 MPa	62,66 MPa	3,96
3	Struktur bawah	JIS G3101 SS400	248 MPa	18,36 MPa	13,51
4	Struktur penguat	JIS G3101 SS400	248 MPa	45,43 MPa	5,46

Tabel 5. Angka keamanan skenario 2.

No.	Bagian Struktur	Material	Tegangan Yield	Tegangan Material	Angka Keamanan
1	Struktur atas	JIS G3101 SS400	248 MPa	92,21 MPa	2,69
2	Struktur kolom	JIS G3101 SS400	248 MPa	64,01 MPa	3,87
3	Struktur bawah	JIS G3101 SS400	248 MPa	18,59 MPa	13,34
4	Struktur penguat	JIS G3101 SS400	248 MPa	45,42 MPa	5,46

- Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tegangan yang terjadi pada struktur masih berada di bawah tegangan ijin dari material. Sesuai dengan API RP 2A-WSD tegangan maksimum yang diperbolehkan yaitu 0,75 dari tegangan *yield*. Material yang digunakan JIS G3101 SS400 memiliki tegangan *yield* sebesar 248 **MPa** sehingga tegangan yang diijinkan adalah 186 **MPa**. Rangkuman tegangan yang terjadi pada struktur dapat dilihat pada tabel 5.1.

Tabel 6. Rangkuman tegangan pada struktur.

No.	Bagian Struktur	Tegangan	
		Skenario 1	Skenario 2
1	Struktur atas	92,29 MPa	92,21 MPa
2	Struktur kolom	62,66 MPa	64,01 MPa
3	Struktur bawah	18,36 MPa	18,59 MPa
4	Struktur penguat	45,43 MPa	45,42 MPa

- Hasil analisis menunjukkan bahwa defleksi yang terjadi pada struktur yaitu pada skenario 1 sebesar 6,62 *mm* dan pada skenario 2 sebesar 6,61 *mm*. Baik pada skenario 1 maupun skenario 2, defleksi maksimum terjadi pada struktur atas. Defleksi pada kedua skenario masih berada di bawah batas maksimum defleksi yaitu sebesar 9,09 *mm* sehingga

defleksi pada struktur masih dalam batas wajar untuk digunakan.

- Perhitungan angka keamanan menunjukkan bahwa baik pada skenario 1 maupun skenario 2 angka keamanan terendah berada pada struktur atas yaitu sebesar 2,68 (skenario 1) sedangkan angka keamanan terbesar berada pada struktur bawah yaitu sebesar 13,51 (skenario 1). Berdasarkan angka tersebut, struktur atas menjadi bagian yang akan mengalami dampak paling awal jika struktur mengalami kegagalan.

Daftar Pustaka

1. L. Skinner, *Hydraulic Rig Technology and Operations*, Cambridge: Gulf Professional Publishing, (2018).
2. R. S. Khurmi and J. K. Gupta, *Textbook of Machine Design*, 14th ed. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD., (2005).
3. American Petroleum Institute, *Specification for Drilling and Well Servicing Structures API Specification 4F*, 3rd ed. Washington, D.C: API Publishing Services, (2008).
4. American Petroleum Institute, *Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms—Working Stress Design API RECOMMENDED PRACTICE 2A-WSD (RP 2A-WSD)*, 21st ed. Washington, D.C: API Publishing Services, (2003).
5. R. G. Budynas and J. K. Nisbett, *Shigley's Mechanical Engineering Design*, 10th ed. New York: MCGraw-Hill Education, 2015.