

## STUDI KEKUATAN SUPPORT STRUCTURE (LEG) PADA KONSTRUKSI FPSO BULK WATER SEPARATION MODULE

Surya Lesmana<sup>1</sup>, Mufti Fathonah Muvariz<sup>1\*</sup>, Nurul Fadilah<sup>1</sup>, Hendra Saputra<sup>1</sup>, Sapto Wiratno Satoto<sup>1</sup>

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

\*Corresponding author: mufti@polibatam.ac.id

### Article history

**Received:**  
02-12-2021  
**Accepted:**  
20-12-2022  
**Published:**  
31-12-2022

Copyright © 2011  
Jurnal Teknologi dan  
Riset Terapan

Open Access

### Abstrak

*Support Structure* merupakan bagian struktur yang memberikan kekakuan dan kekuatan serta menjadi tumpuan berat beban di atasnya. Pembuatan desain awal pada studi ini menggunakan CAD yang kemudian dikonversi ke SolidWorks 2019 untuk dilakukan simulasi. Berat beban yang dihasilkan untuk pengujian *support structure* berasal dari berat konstruksi *module* yang ada di atasnya sebesar 30.925 kg, diasumsikan sebagai beban statis. Material yang menjadi bagian dari *support structure* dalam studi ini berjenis S355J0 yang bertipe *structural steel* dengan nilai *yield strength* sebesar 275 N/mm<sup>2</sup>. Pengujian *stress* menunjukkan bahwa tegangan maksimum sebesar 198 N/mm<sup>2</sup> sehingga dapat dikategorikan aman karena  $x <$  nilai *yield strength*-nya. Pengujian *strain* menunjukkan nilai maksimum sebesar  $5,260 \times 10^{-4}$ , sementara *displacement* maksimum sebesar 1,168 mm. Pengujian *factor of safety* dengan simulasi menunjukkan hasil sebesar 1,4.

**Kata Kunci:** *Support Structure, Konversi, Konstruksi Module, Simulasi*

### Abstract

*The Support Structure is a part of the structure that provides rigidity and strength and supports the weight of the load above it. The initial design in this study uses CAD which is then converted to SolidWorks 2019 for simulation. The weight of the load generated for testing the support structure comes from the weight of the module construction above it of 30,925 kg, assumed to be a static load. The material that is part of the support structure in this study is S355J0-type structural steel with a yield strength value of 275 N/mm<sup>2</sup>. Stress testing shows that the maximum stress is 198 N/mm<sup>2</sup> so it can be categorized as safe because  $x <$  the yield strength value. Strain testing shows a maximum value of  $5.260 \times 10^{-4}$ , while the maximum displacement is 1.168 mm. The factor of safety testing with simulation showed a result of 1.4.*

**Keywords:** *Support Structure, Converted, Module Construction, Simulation*

## 1.0 PENDAHULUAN

*Floating Production Storage and Offloading* (FPSO) merupakan fasilitas terapung yang berbentuk kapal dan beroperasi pada daerah perairan laut dalam atau daerah lepas pantai, yang berfungsi untuk menerima, memproses, menyimpan, dan menyalurkan minyak dan gas bumi ke pasaran untuk siap didistribusikan. Banyak fasilitas produksi yang terdapat di atas geladak FPSO. Fasilitas tersebut terdiri dari beberapa fasilitas pemrosesan dan pendukung yang disusun dalam beberapa bagian. Di antaranya adalah *gas dehydration, gas compression, water injection, gas, water, oil separator dan seawater treatment* dan lain-lain. [1,4]

Minyak dan gas bumi merupakan salah satu sumber energi utama dunia yang dibentuk dari proses geologi yang sama. Sehingga, minyak dan gas bumi sering

ditemukan pada lokasi yang bersamaan. Daerah yang kaya akan gas bumi disebut ladang gas (*gas field*) dan daerah yang kaya akan minyak bumi disebut ladang minyak (*oil field*). Teknologi eksplorasi dan eksploitasi minyak dan gas semakin meningkat dengan seiring meningkatnya kebutuhan minyak dan gas. Sehingga teknologi pengeboran pada laut dangkal saat ini mulai bergeser pada pengeboran laut dalam, yakni dengan menggunakan bangunan terapung (*floating*). [2,4]

Pada sistem struktur terapung ini hasil eksplorasi dari minyak dan gas bumi mengalami proses pengolahan awal di *Central Processing Facility* (CPF) untuk memisahkan minyak dan gas bumi dari kondensat. Setelah diolah minyak dan gas bumi kemudian disalurkan ke FPSO *floating production, storage, and offloading* untuk diolah lebih lanjut, FPSO juga berfungsi sebagai tempat penyimpanan sementara

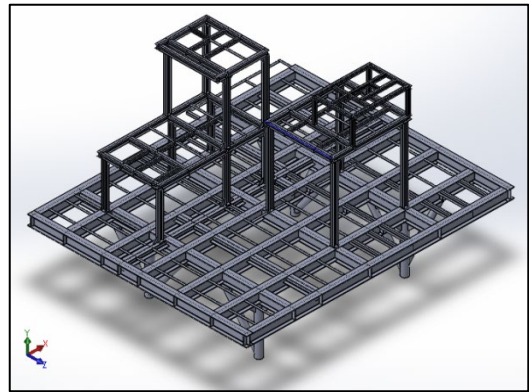
minyak dan gas bumi sebelum kemudian di-offloading ke kapal tanker ataupun dialirkan melalui pipa ke daratan untuk diolah lebih lanjut. [2]

Dalam proses *offloading* (pemindahan muatan) antara FPSO dengan kapal tanker terdapat dua sistem yaitu: *side by side*, dan *tandem offloading*. Sistem *side by side* dilakukan dengan cara memosisikan kedua objek sejajar dan kedua sistem dilakukan pada suatu ketentuan jarak. Sedangkan pada sistem *tandem offloading*, kapal tanker berada di belakang FPSO dengan jarak yang telah ditentukan. FPSO dalam operasinya mendapatkan pengaruh yang sangat signifikan dari beban eksternal khususnya beban gelombang dan beban angin, serta pengaruh beban internal yang merupakan beban yang berposisi diatas *support structure* yang mampu ditahan olehnya. Oleh sebab itu, kekuatan *support structure* sangat diperlukan pada konstruksi FPSO *module water separator* sebagai sarana untuk menjalankan sistem operasinya sebagai bagian dari unit kapal FPSO yang terletak di posisi deck pada kapal FPSO. [3]

Perkembangan kemajuan teknologi sangat membantu perancangan *support structure*. Struktur ini berfungsi menahan berat pada konstruksi berat dari FPSO *module water separator* seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Simulasi dapat dilakukan dengan *software SolidWorkss 2019* dengan mengetahui hasil analisa dari *stress, strain, displacement* dan *factor of safety*. Selain itu diungkapkan pula bagaimana reaksi yang bekerja setelah dilakukan proses simulasi saat keempat *support structure* pada konstruksi FPSO *module water separator* yang diberikan tekanan berat sesuai dari berat konstruksi *module* yang terletak berada di atasnya.



Gambar 1: Konstruksi FPSO *module water separation*

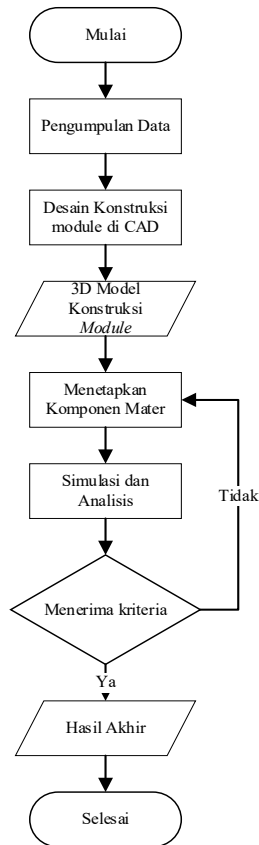


Gambar 2: Model konstruksi FPSO *bulk water separator module*.

Studi ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana reaksi kekuatan dari *support structure* yang digunakan untuk menahan kekuatan berat yang berasal dari konstruksi *module* yang berada di atasnya, seperti ditampilkan Gambar 2. Simulasi dilakukan dengan *software SolidWorkss 2019* dengan mengamati keempat pendistribusian beban yang dihasilkan, yakni; *stress, strain, displacement* dan *factor of safety* dari *support structure* tersebut.

## 2.0 METODE

Studi ini menggunakan analisa beban statis pada *support structure* yang telah dirancang sesuai dengan data yang berhasil dikumpulkan. Penggambaran desain awal menggunakan *CAD* yang kemudian dikonversi kedalam *software SolidWorks 2019*. Gambar desain tersebut akan digunakan untuk proses simulasi pada *software SolidWorks 2019* dengan memperhatikan keempat pendistribusian beban yang dihasilkan, yaitu; *stress, strain, displacement* dan *factor of safety*. Dari empat pendistribusian beban yang dihasilkan melalui proses simulasi menggunakan *software* pendukung, dapat diketahui bagaimana kekuatan dari konstruksi *support structure* yang menerima beban dari berat konstruksi *module* yang berada di atasnya sebagai beban yang ditahan oleh *support structure* yang menjadi fasilitas pada kapal FPSO *water separator*.



Gambar 3: Flowchart penelitian

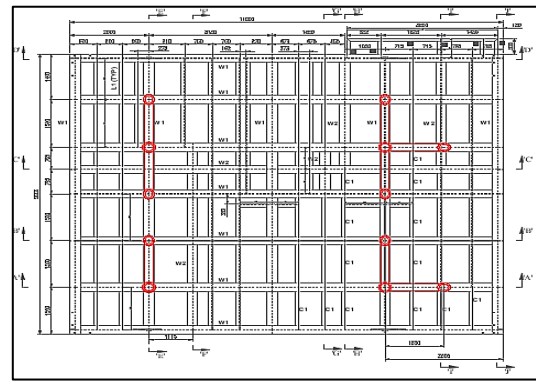
Penjabaran alur pada Gambar 3 disajikan pada subsection 2.1 sampai 2.5 sebagai berikut:

### 2.1. Pengumpulan Data

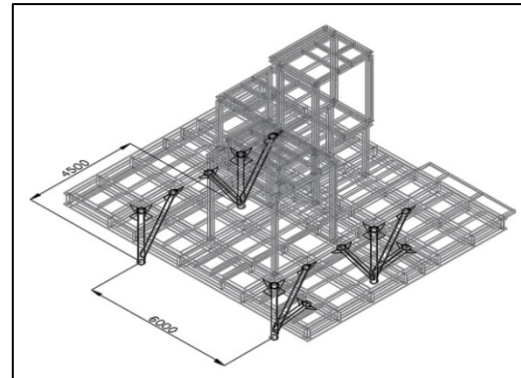
Data dikumpulkan dari observasi konstruksi FPSO *module water separator* secara aktual ataupun non-aktual. Observasi secara aktual dilakukan pada konstruksi keseluruhan pada *module* tersebut. Sedangkan observasi non-aktual dilakukan pada gambar konstruksi dimana dimensi yang tertera pada detail gambar dikomparasi dengan konstruksi aktualnya. Selain observasi, data juga diperoleh dari wawancara.

### 2.2. Model konstruksi module pada CAD

Data yang diperoleh akan diolah menjadi model dengan CAD yang kemudian dikonversi menjadi bentuk 3D pada SolidWorks. Model 3D ini digunakan untuk menganalisa beban statis dan simulasi. Model 2D maupun 3D yang dimaksud ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5 berikut.



Gambar 4: Posisi tampak atas letak support structure



Gambar 5: Jarak peletakan antar support structure

### 2.3. Struktur sebagai support structure

*Support structure* yang digunakan pada FPSO *bulk module water separator* adalah pipa dengan ukuran yang cukup besar. Pipa I berdiameter 273 mm (10 inci) dengan *schedule* 80, sementara pipa II berdiameter 219 mm (8 inci) dengan *schedule* 40. Kedua pipa tersebut mengikuti aturan standarisasi menurut ketentuan dari *van Leewen pipe and tube*. Spesifikasi pipa yang digunakan tersebut ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1: Spesifikasi pipa sebagai support structure

| Nominal Pipe Size (inci) | Outside Diameter (mm) | Thickness (mm) |       | Schedule |
|--------------------------|-----------------------|----------------|-------|----------|
|                          |                       | Max.           | Min.  |          |
| 8                        | 219                   | 42.55          | 8.18  | 40       |
| 10                       | 273                   | 96.01          | 15.01 | 80       |

### 2.4. Penetapan komponen material

Material yang digunakan pada konstruksi *support structure* tersebut adalah material dengan nomor 1.0553 dengan *grade* S355J0. Material ini merupakan *structural steel (hot rolled)* yang biasanya digunakan pada perusahaan yang bergerak dibidang migas. Pemilihan material ini disebabkan karena kekuatannya yang sangat terjamin pada bangunan atau struktur yang diproduksi oleh perusahaan yang bergerak dibidang migas. Spesifikasi material S355J0 ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2: Spesifikasi structural steel (S355J0)

| Property         | Value   | Units             |
|------------------|---------|-------------------|
| Elastic Modulus  | 210,000 | N/mm <sup>2</sup> |
| Poissions Ratio  | 0.28    | N/A               |
| Shear Modulus    | 79,000  | N/mm <sup>2</sup> |
| Tensile Strength | 450     | N/mm <sup>2</sup> |
| Yield Strength   | 275     | N/mm <sup>2</sup> |

## 2.5. Perhitungan dan Simulasi

Tahap akhir setelah dilakukan proses simulasi adalah dengan mengambil data dari hasil jumlah yang didapatkan melalui proses simulasi yang dilakukan pada konstruksi *support structure* dengan menahan beratnya beban yang berasal dari konstruksi *module* tersebut, kemudian data yang didapatkan akan menjadi acuan untuk melihat proses dari kekuatan yang terjadi pada konstruksi *support structure* akibat menahan beban dari konstruksi *module* tersebut.

Langkah selanjutnya adalah dengan mencari nilai gaya yang akan digunakan sebagai acuan perhitungan beban, gaya merupakan suatu tarikan atau dorongan. Selanjutnya setelah dapat nilai gaya yang akan digunakan untuk proses simulasi. Berikut ini penjelasan singkat mengenai beberapa besaran yang diamati yakni *stress*, *strain*, *displacement* dan *factor of safety*.

Tegangan (*stress*) didefinisikan sebagai gaya persatuan luas penampang benda tersebut. tegangan dapat dirumuskan : [7]

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Keterangan :

$\sigma$  : Tegangan (N/m<sup>2</sup>)

F : Besar gaya tekan/tarik (N)

A : Luas penampang (m<sup>2</sup>)

Regangan (*strain*) didefinisikan sebagai perbandingan antara penambahan panjang benda  $\Delta X$  terhadap panjang mula-mula X. Regangan dapat dirumuskan : [7]

$$\varepsilon = \frac{\Delta X}{X} \quad (2)$$

Keterangan :

$\varepsilon$  : Regangan (tanpa satuan)

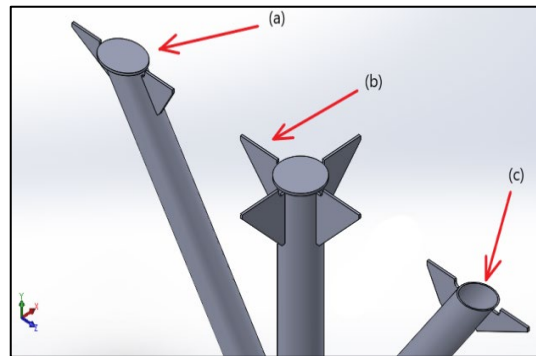
$\Delta X$  : Pertambahan panjang (m)

X : Panjang mula-mula (m)

Deformasi (*displacement*) adalah perubahan bentuk pada benda yang dikenai gaya.

Faktor keamanan (*factor of safety*) adalah tolak ukur yang digunakan dalam menentukan kualitas suatu benda. [5]

- Beban statis : 1,25 – 2
- Beban dinamis : 2 – 3
- Beban kejut : 3 – 5



Gambar 6: Model dari: (a) Doubler plate, (b) Bracket plate dan (c) Pipe

Sesuai dengan peraturan dari DNV-GL (*Det Norske Veritas-Germanischer Llyod*), secara analisis bagian dari *support structure* yang ingin diuji dapat dijelaskan pada Gambar 6. [6]

Secara matematis, gaya dapat didefinisikan sebagai berikut;

$$F = w \times g \quad (3)$$

F = gaya (Newton)

w = massa benda (kg)

g = percepatan gravitasi (m/s)

Pada tahap pengumpulan data, didapatkan data yang berhasil dikumpulkan yaitu berupa data berat dari konstruksi *module* secara keseluruhan, dan berat dari seluruh konstruksi *support structure*. Selanjutnya untuk data berat dari konstruksi *module* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3: Daftar berat konstruksi *module* dan *support structure*

| Sort   | Weight (kg) |
|--|-------------|
| All module construction from base to the top position  | 32930       |
| Support structure (leg); pipe, bracket & doubler plate | 2005        |

Selanjutnya yang dilakukan adalah untuk mencari hasil dari perhitungan nilai *w* (*weight*) terlebih dahulu, yang nantinya akan diasumsikan sebagai hasil dari berat yang telah ditentukan, untuk mencari nilai dari gaya yang akan digunakan sebagai proses simulasi, dengan cara;

$$\begin{aligned} W_{total} &= W_{whole} - W_{supp. structure} \\ &= 32930 \text{ kg} - 2005 \text{ kg} \\ &= 30925 \text{ kg} \end{aligned} \quad (4)$$

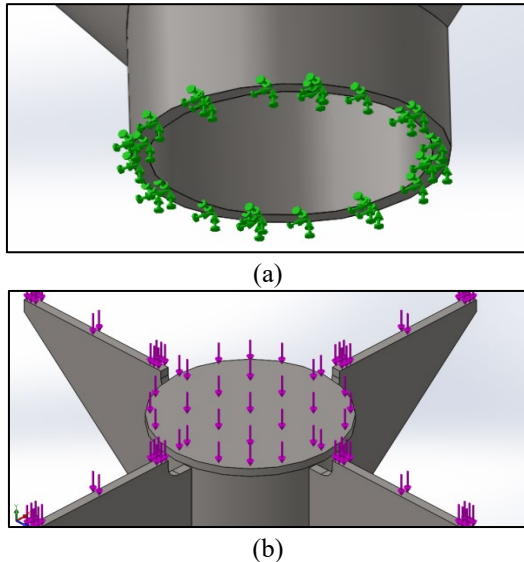
$$F = W \times g$$

$$\begin{aligned} F &= \frac{W_{total} \times g}{total support structure} \\ &= \frac{30925 \times 9,81 \text{ m/s}}{4} \\ &= 75843,56 \text{ N} \end{aligned} \quad (5)$$



### 3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

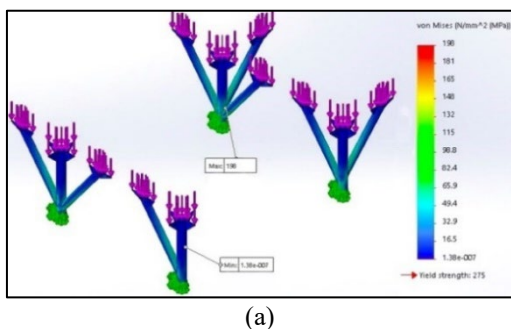
Pada tahap pembahasan, langkah pertama yang dilakukan adalah: menentukan jenis material yang digunakan sebagai bahan pengujian. Menentukan letak *fixture* yang merupakan bagian tumpuan dari benda yang ingin diuji dan memilih sisi atau *entities* yang mengalami gaya atau pembebanan sesuai dengan perhitungan mengikuti rumus yang ditentukan, sebagai contoh dapat dilihat pada Gambar 7(a) dan 7(b).



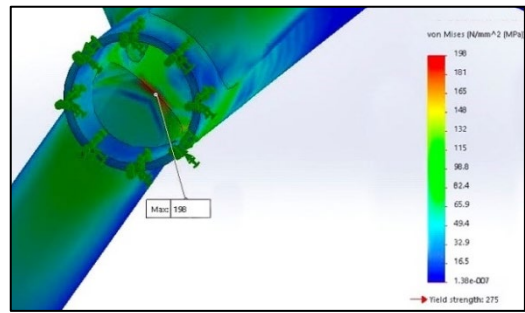
Gambar 7: (a) Peletakan *fixture*, (b) Pemberian beban pada *support structure*.

#### 3.1. Stress

Hasil untuk pengujian *stress* didapatkan nilai maksimum sebesar 198 N/mm<sup>2</sup> dengan letak titik maksimum berada pada sambungan antar pipa II pada pipa I yang ditandai dengan warna merah. Hal ini dikarenakan daerah yang berwarna merah tersebut merupakan daerah yang sangat banyak mendapatkan kekuatan beban yang sistemnya sebagai menahan berat dari konstruksi *module* yang berada di atasnya. Hasil *stress* yang didapatkan sebesar 198 N/mm<sup>2</sup> dan dikategorikan aman karena nilai  $x$  dari *stress* tersebut lebih kecil daripada nilai *yield strength* pada material yang digunakan sebagai pengujian, oleh karena itu *support structure* ini masih memiliki sifat elastis dan sangat aman untuk digunakan. Untuk pengujian *stress* dengan hasil minimum sebesar  $1,38 \times 10^{-7}$  N/mm<sup>2</sup> yang ditandai dengan warna biru gelap dengan letak titik minimum berada pada pipa 1 bagian luar, dikarenakan bagian yang berwarna biru merupakan bagian yang paling sedikit terkena reaksi dari gaya yang ditimbulkan, dijelaskan pada Gambar 8 (a) dan 8 (b).



(a)

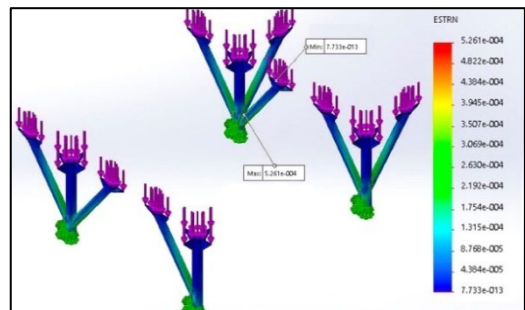


(b)

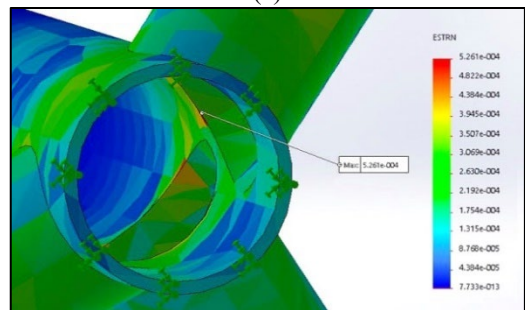
Gambar 8: (a) Hasil simulasi Von-Mises *stress*, (b) Letak titik maksimum *stress* pada *support structure*.

#### 3.2. Strain

Hasil analisis *strain* dengan nilai maksimum didapatkan hasil sebesar  $5,261 \times 10^{-4}$ , letak posisi titik maksimum pada pengujian *strain* terdapat pada bagian sambungan antar pipa II pada pipa I yang ditandai dengan warna merah. Hal ini dikarenakan pada daerah yang berwarna merah merupakan daerah yang terkena dampak lebih besar untuk menahan beratnya konstruksi *module* pada *support structure* ini. Untuk hasil minimum pada *strain* yang didapatkan sebesar  $7,733 \times 10^{-13}$ , posisi letak titik minimum tersebut terletak pada bagian ketebalan pada masing-masing *doubler plate* yang ditandai dengan warna biru gelap, pada daerah yang berwarna biru gelap terjadi dikarenakan sedikitnya reaksi pertambahan atau pengurangan panjang dan ketebalan pada *doubler plate* yang terjadi akibat menahan berat dari konstruksi *module* yang berada di atasnya, dijelaskan pada Gambar 9 (a) dan 9 (b).



(a)



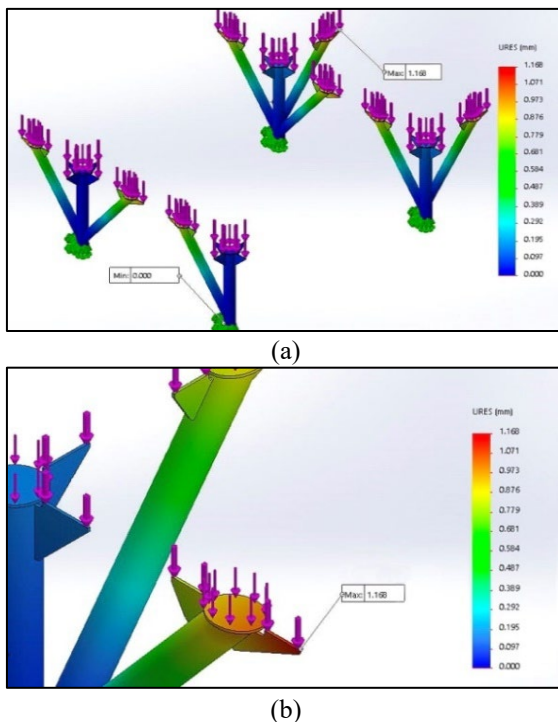
(b)

Gambar 9: (a) Hasil simulasi *strain*, (b) Letak titik maksimum *strain* pada *support structure*

#### 3.3. Displacement

Hasil pengujian *displacement* didapatkan nilai maksimum sebesar 1,168 mm dengan letak titik maksimum terdapat pada tiap-tiap bagian dari *bracket*

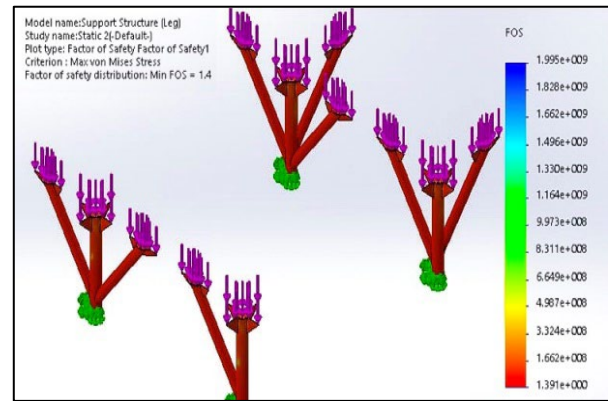
yang ada pada *support structure* tersebut dengan ditandai warna merah terang, pada bagian yang ditandai berwarna merah terang ini merupakan bagian yang paling besar terkena deformasi beban yang dialami *support structure* tersebut akibat menahan beban yang berada diatas *support structure* tersebut. Kemudian untuk nilai minimum yang didapatkan sebesar  $1 \times 10^{-30}$  mm dengan letak titik minimum yang terletak pada bagian bawah pipa 1 yang menjadi pusat beban dari pengujian ini dan ditandai dengan warna biru gelap, bagian yang ditandai dengan warna biru gelap ini merupakan bagian yang paling sedikit terkena deformasi akibat beban yang ditahan oleh *support structure* tersebut, dijelaskan pada Gambar 10 (a) dan 10 (b).



Gambar 10: (a) Hasil simulasi displacement, (b) Letak titik maksimum displacement pada support structure

### 3.4. Factor of Safety

*Factor of safety* merupakan faktor penting dalam menentukan kualitas suatu produk yang ingin dirancang. Jika suatu produk memiliki nilai kurang dari 1 maka produk tersebut tidak layak untuk digunakan. Hal ini juga berarti bahwa jika suatu produk memiliki nilai 1, maka produk tersebut hanya dapat menahan beban itu saja. Jika *safety factor* memiliki nilai jauh lebih tinggi dan mencapai 3 (tiga) digit atau lebih, dapat dikatakan bahwa produk tersebut aman, jumlah *factor of safety* pada *support structure* sebesar 1,4 sedangkan perkiraan aktual untuk *safety factor* tersebut sebesar 1,5~1,6 dari perkiraan, maka dari itu *support structure* ini aman digunakan dan terjamin kekuatannya untuk menahan beratnya konstruksi *module* yang berada diatasnya, dijelaskan pada Gambar 11.



Gambar 11: Hasil simulasi dari *factor of safety*

## 4.0 KESIMPULAN

*Support structure* merupakan bagian dari struktur yang menjadi tumpuan dan kekakuan untuk menahan beratnya sebuah struktur yang terpasang diatasnya, proses simulasi untuk *support structure* dengan menggunakan *structural steel* material dengan grade S355J0, sebagai berikut;

1. *Support structure* yang digunakan berupa pipa dengan ukuran 10" (inch) untuk yang berposisi vertikal dan 8" (inch) untuk yang berposisi miring, dengan jenis material S355J0.
2. Untuk hasil pengujian *stress* didapatkan hasil sebesar 198 N/mm<sup>2</sup>, hasil tersebut Xhasil < dari nilai *yield strength* dari jenis material yang dipakai. Oleh sebab itu, *support structure* ini memiliki sifat elastis dan aman digunakan.
3. *Factor of safety support structure* tersebut sebesar 1.4 dimana perkiraan untuk beban statis 1.25 ~2 menurut *rules DNVGL*, maka dari itu *support structure* ini masih sangat aman digunakan ketika menerima beban tambahan yang diletakkan diatasnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ahmad, Ali. Akbar (2012). Analisa Keandalan Struktur *Topside* Module Fpso Saat Beroperasi. Jurnal Teknik Kelautan, Institute Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 1-5.
- [2] Samanjuntak, Andreas. Teddy (2014). Analisis Inplace Dan Transportasi Pada Struktur Penyangga Pipa Gas Bawah Laut. Jurnal Teknik Kelautan, Universitas Gadjah Mada. Diunduh dari website resmi (<http://etd.repository.ugm.ac.id/>) Diakses pada tanggal 8 Januari 2020 pukul 9.00 pagi WIB.
- [3] Nurfitriya, Ayu. Mega (2014). Sistem *Offloading* antara FPSO (*Floating Production and Storage Offloading*) dan Tanker. Jurnal Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [4] Muspartt, Adam (2018). *Guide to FPSO (Floating Product Strage and Offloading) Floating Production Storage and Offloading is a core element of the oil & gas extraction and refinement process International Quality & Productivity Centre, Global Oil & Gas.* (<https://www.oilandgasiq.com/fpso->

[fng/articles/guide-to-floating-production-storage-and-offloading-fpso](https://www.dnv.com/global-articles/guide-to-floating-production-storage-and-offloading-fpso)) (Diakses 17 Januari 2020)

- [5] *Offshore Standard* DNV-RU-OU-0102. *Safety Factor. Norway: Det Norske Veritas*
- [6] *Structural support*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Structural\\_support](https://en.wikipedia.org/wiki/Structural_support) (Diakses 17 Januari 2020).
- [7] Hakim, Daniar Rahman., Saputra, Hendra., Muvariz, Mufti Fathonah. (2017). Analisis kekuatan konstruksi *corrugated watertight bulkhead dan transverse plane watertight bulkhead*. Repository Politeknik Negeri Batam.