



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Studi *Buckling* pada Tangki Kargo Muatan Gas Cair Tipe Bilobe Berbasis Metode Elemen Hingga

Moriko Syahrudin¹⁾, Hartono Yudo¹⁾, Wilma Amiruddin¹⁾

¹⁾ Laboratorium Konstruksi dan Struktur Kapal

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: moriko.syahrudin@gmail.com hartonoyudo@yahoo.com wisilmiw@yahoo.com

Abstrak

Tangki merupakan suatu struktur yang digunakan untuk penyimpanan dan pendistribusian fluida maupun gas alam dalam memenuhi kebutuhan industri dan lainnya. Tipe tangki kargo yang paling sederhana adalah *Type C Cargo Tank*. *Type C Cargo Tank* mempunyai dua jenis tangki yaitu *Cylinder Tank* dan *Bilobe Tank*. *Type C Cargo Tank* merupakan tangki yang *self supporting* dan tidak ada batasan pengisian muatan secara partial. Tangki ini juga bisa diproduksi diluar galangan kapal dan tidak membutuhkan *secondary barrier*. Beda halnya dengan tipe tangki yang lainnya yang memiliki *secondary barrier complete* dan *fully refrigerated atmospheric pressure*. Dalam melakukan desain pada tangki harus memperhitungkan pembebanan yang akan diangkut. Hal ini perlu diperhatikan karena bisa terjadi kegagalan struktur pada tangki tersebut. Salah satu kegagalan struktur yang terjadi pada sebuah tangki adalah *buckling* atau tekuk. Pada penelitian ini tangki bilobe divariasikan berdasarkan perbedaan pembebanan berupa *force*, *internal pressure* dan *combined*. Model yang akan dianalisa dimodelkan menggunakan metode elemen hingga termasuk analisa *buckling* dengan mempertimbangkan deformasi yang terjadi pada variasi pembebanan. Pembebanan maksimum untuk *force critical* sebesar $1,14 \times 10^4$ KN, sedangkan untuk *internal pressure* sebesar $9,55 \times 10^1$ KPa dan untuk *combined* dengan moment-pressure critical sebesar $1,97 \times 10^3$ KN dan $2,54 \times 10^2$ KPa. Untuk nilai deformasi yang dihasilkan menunjukkan bahwa $\delta_{force} > \delta_{combined} > \delta_{internal pressure}$.

Kata Kunci: *Tangki Bilobe, Buckling dan Deformasi*

1. PENDAHULUAN

Gas bumi merupakan sumber daya alam dengan cadangan terbesar ketiga di dunia setelah batu bara dan minyak bumi. Gas alam pada awalnya tidak dikonsumsi sebagai sumber energi karena kesulitan dalam hal transportasi sehingga selalu dibakar ketika diproduksi bersamaan dengan minyak bumi. Pemanfaatan gas alam di Indonesia tidak hanya untuk transportasi dan rumah tangga saja. Tetapi sekarang untuk industri. Produk dari gas alam yang digunakan adalah LPG (*Liquid Petroleum Gas*), CNG (*Compressed Natural Gas*), LNG (*Liquid*

Natural Gas) dan CBM (*Coal Bed Methane*) yang merupakan sumber non konvensional yang sedang dikembangkan di Indonesia. [1]

Gas Alam dapat diangkut dalam dua bentuk, yaitu dalam bentuk gas dan dalam bentuk cair atau lebih dikenal dengan *Liquefied Gas*. Masing-Masing cara pengangkutan mempunyai konsekuensi berbeda-beda terhadap moda angkut yang digunakan dan otomatis berpengaruh terhadap biaya angkut. Berdasarkan tipe kargo, dua kategori kargo yang dapat dibedakan adalah *Liquefied Natural Gas* (LNG) dan *Liquefied Petroleum Gas* (LPG).

Tipe Kargo yang paling sederhana adalah *Type C Cargo Tank*. Untuk *Type C Cargo Tank* mempunyai dua jenis tangki yaitu *Cylinder Tank* dan *Bilobe Tank*. *Type C Cargo Tank* merupakan tangki yang *Self Supporting* dan tidak ada batasan pengisian muatan secara partial. Tangki ini juga bisa diproduksi diluar galangan kapal dan tidak membutuhkan *Secondary Barrier*.

Tipe C tangki kargo digunakan untuk mengangkut kapasitas gas cair dengan muatan yang kecil maupun medium, yaitu sekitar 20000 m³. Untuk kapasitas yang lebih besar digunakan tangki kargo prisma (tipe A) dalam operasionalnya. Tangki tipe A memiliki kelebihan dalam operasionalnya yaitu memiliki *secondary barrier complete* dan *fully refrigerated atmospheric pressure*. [1]

Dintinjau dari permasalahan diatas penulis mencoba memberikan gambaran karakteristik *buckling* pada tangki bilobe dengan menggunakan pembebanan berupa *moment*, *internal pressure* dan *combined*. Tangki bilobe akan dimodelkan menggunakan MSC Patran dan untuk analisa dibantu oleh MSC Marc Mentat.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Tipe tangki menurut IMO (*International Maritime Organization*) dibagi menjadi 3 tipe, diantaranya adalah tipe A, tipe B dan tipe C. Berdasarkan tipe tersebut tipe C merupakan tangki *independent cylindrical-bilobe* dan tanki bertekanan suhu kamar atau suhu yang lebih rendah. Tangki tipe C atau tangki bilobe juga tidak memerlukan *secondary barrier* atau lapisan kedua (dalam) pada desain tangki tersebut. [1]

Fluida yang mengalir didalam tangki memiliki tekanan berdasarkan senyawa pada fluida tersebut. Untuk Gas LPG terdapat komponen utama yaitu Propana (C₃H₈) dan (C₄H₁₀). Disamping itu, LPG juga mengandung senyawa hidrokarbon ringan yang lain dalam jumlah kecil, yaitu Etana (C₂H₆) dan Pentana (C₅H₁₂). [2]

Perbedaan tekanan pada setiap senyawa mengakibatkan tekanan yang dimiliki oleh senyawa tersebut berbeda-beda pula. Sehingga, dalam perancangan sebuah tangki perlu dilakukan pertimbangan agar struktur pada tangki tidak mengalami kebocoran.

Selain tekanan yang bekerja pada sebuah tangki akibat adanya fluida yang berada didalam tangki, tangki juga menerima gaya berat akibat berat tangki dan berat fluida(muatan).

Metode elemen hingga adalah sebuah

metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisa sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu permasalahan.

Tahapan langkah pembuatan model untuk dianalisa menggunakan metode elemen hingga dapat dijelaskan secara garis besar menjadi sebagai berikut:

1. Pembuatan geometri awal struktur yang akan dianalisa.
2. Penentuan jumlah elemen yang akan diberikan pada model geometri tersebut.
3. Pembuatan elemen dari hasil pemodelan geometri struktur yang akan dianalisa (*mesh generation*).
4. Pemberian kondisi batas (*constraint/ boundary condition*).
5. Penentuan jenis material dan properti yang digunakan.
6. Pemberian kondisi pembebanan (*loading condition*).
7. Analisa.

Buckling atau penekukan dapat didefinisikan sebagai sebuah fenomena kegagalan yang terjadi akibat tekanan kompresif yang terjadi pada sebuah struktur sehingga menyebabkan terjadinya perubahan bentuk struktur tersebut berupa defleksi lateral ke bentuk kesetimbangannya yang lain. [3]

Buckling analisis adalah teknik yang digunakan untuk menentukan beban tekuk kritis beban di mana struktur menjadi tidak stabil dan bentuk modulus melengkung bentuk karakteristik yang terkait dengan respon struktur yang melengkung.

Fenomena *buckling* dapat dibagi menjadi dua bagian: tekuk global dan tekuk lokal. Contoh khas tekuk global adalah seluruh struktur melengkung sebagai satu unit, sementara tekuk lokal adalah tekuk yang terjadi pada elemen-elemen pelat. [4]

Pada perangkat lunak MSC Marc (Mentat), analisa *buckling* dapat menghasilkan nilai akhir berupa beban kritis. Tetapi pada perangkat lunak MSC Nastran hasil dari proses akhir tidaklah langsung berupa nilai beban kritis dari struktur yang dianalisa melainkan berupa nilai eigen. Sehingga untuk mendapatkan nilai beban kritis nilai eigen tersebut harus dimasukkan ke dalam persamaan sederhana yakni,

$$P_{cr} = P_{applied} \times Eigenvalue$$

Analisa dengan menggunakan perangkat lunak MSC Marc (Mentat) dengan nilai eigen yang dihasilkan dapat juga diartikan sebagai besarnya faktor keamanan yang dimiliki

oleh struktur tersebut. Semakin kecil nilai eigen yang dihasilkan semakin besar kemungkinan terjadinya kegagalan akibat terjadinya buckling. Oleh karena itu nilai eigen yang besar cukup diharapkan pada analisa sebuah struktur untuk menunjukkan tingkat keamanan yang besar dari struktur tersebut dari kemungkinan terjadinya gagal akibat buckling.[5]



Gambar 1. Contoh *Buckling*

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Flow Chart Metodologi Penelitian

Penyusunan penelitian Tugas Akhir ini didasarkan pada sistematika metodologi yang diuraikan berdasarkan urutan diagram alir atau flow chart yang dilakukan mulai penelitian hingga selesainya penelitian. Penelitian ini dimulai dengan tahap pengumpulan data – data penunjang untuk penelitian seperti buku desain struktur dan jurnal-jurnal terkait. Setelah data terkumpul dilakukan perhitungan pembebanan berupa moment dan internal pressure. Setelah perhitungan selesai, selanjutnya dibuat modelnya menggunakan software berbasis metode elemen hingga. Selanjutnya adalah proses validasi model, apabila model valid dilanjutkan analisa elastic model. Dari hasil analisa didapatkan nilai buckling dan deformasi pada tangki bilobe yang dilanjutkan dengan kesimpulan dan saran.

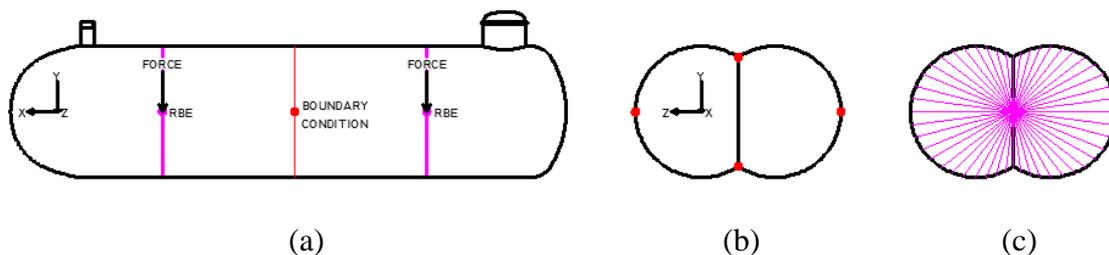
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Pembebanan Operasional

Besarnya pembebanan yang akan digunakan sudah dihitung berdasarkan dimensi utama tangki bilobe yang dianalisa. Beban yang

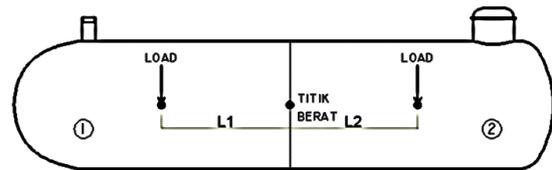
4.2 Penentuan Kondisi Batas dan Kondisi Pembebanan

4.3.1 Skenario 1 (*Bending*)



Gambar 3. Variasi Pembebanan 1 – Gaya (a) Aplikasi Pembebanan (b) Kondisi Batas (c) RBE

akan diaplikasikan ke model terdiri dari 3 jenis, yaitu menggunakan *moment*, *internal pressure* dan *combined (moment-internal pressure)*.



Gambar 2. Pembebanan Operasional pada Tangki Bilobe

1. *Bending*

$$m_1 = 1,82 \times 10^5 \text{ kg}$$

$$m_2 = 1,83 \times 10^5 \text{ kg}$$

$$F_1 = 1,82 \times 10^5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ = 1,78 \times 10^6 \text{ N}$$

$$F_2 = 1,83 \times 10^5 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 \\ = 1,79 \times 10^6 \text{ N}$$

$$L_1 = 9,53 \text{ m}$$

$$L_2 = 9,48 \text{ m}$$

$$M_1 = F \times L \\ = 1,78 \times 10^6 \text{ N} \times 9,53 \text{ m} \\ = 1,70 \times 10^7 \text{ Nm}$$

$$M_2 = F \times L \\ = 1,79 \times 10^6 \text{ N} \times 9,48 \text{ m} \\ = 1,70 \times 10^7 \text{ Nm}$$

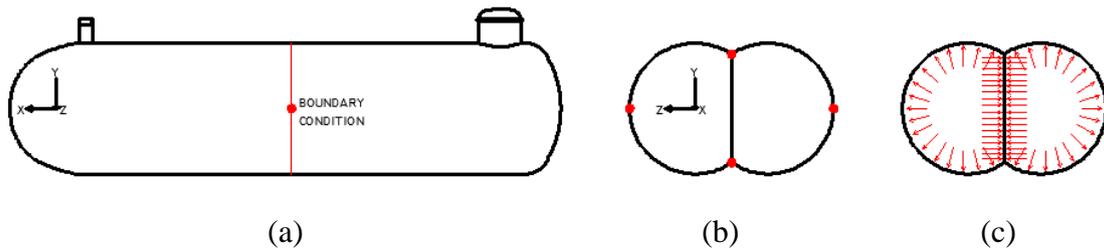
2. *Internal Pressure*

Pembebanan *internal pressure* atau *test pressure* yang diaplikasikan pada bilobe tank yaitu sebesar 462000 Pa.

3. *Combined*

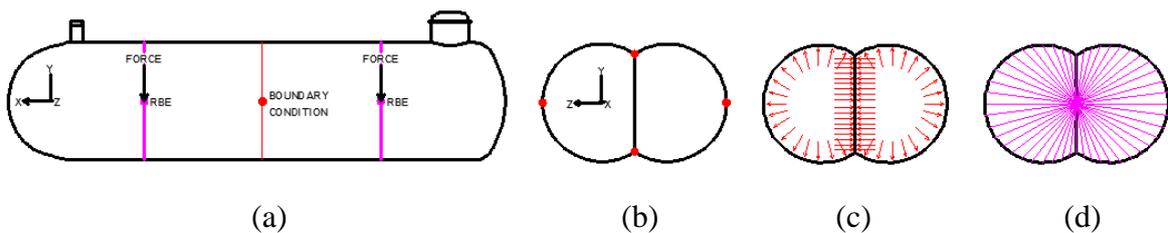
Pembebanan *combined* merupakan penggabungan beban (*load*) antara *force* dan *internal pressure*. $F_1 = 1,78 \times 10^6 \text{ N}$ dan $F_2 = 1,79 \times 10^6 \text{ N}$; $P = 4,62 \times 10^5 \text{ Pa}$.

4.3.2 Skenario 2 (*Internal Pressure*)



Gambar 4. Variasi Pembebanan 2 - *Internal Pressure* (a) Aplikasi Pembebanan (b) Kondisi Batas (c) Tekanan Internal

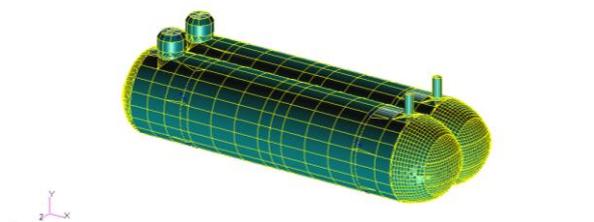
4.3.3 Skenario 3 (*Combined*)



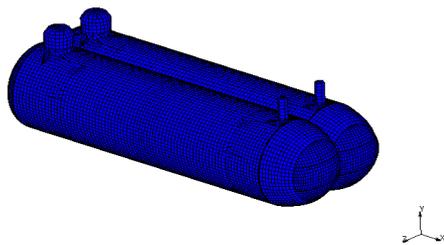
Gambar 5. Variasi Pembebanan 3 – *Combined* (a) Aplikasi Pembebanan (b) Kondisi Batas (c) Tekanan Internal (d) RBE

4.4 Hasil Permodelan

Pembuatan model dikerjakan dengan bantuan software elemen hingga, yaitu MSC Nastran Patran dan Marc Mentat.

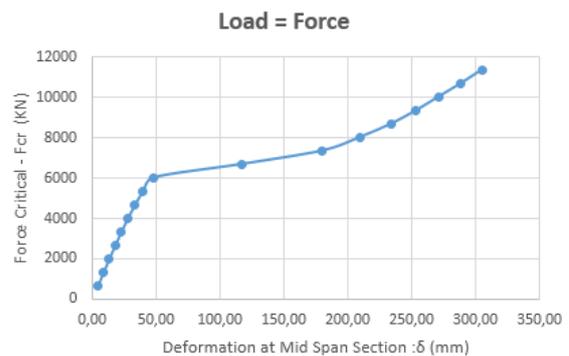


Gambar 6. Model di MSC Marc Patran



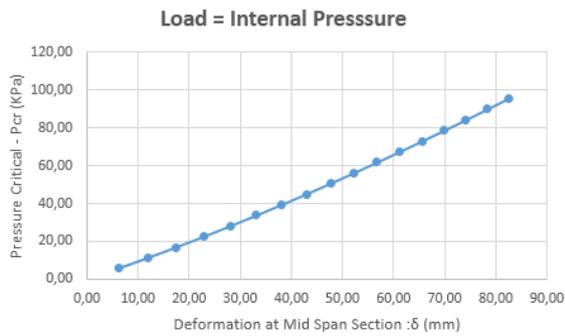
Gambar 7. Model di MSC Marc Mentat

4.5 Hasil Analisa



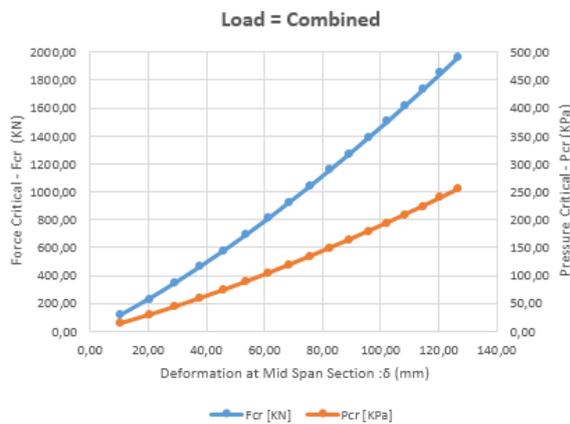
Gambar 8. Grafik kenaikan nilai deformasi tangki bilobe pada pembebanan gaya

Pada gambar 8 menunjukkan hubungan antara force critical dengan deformasi yang terjadi pada tangki bilobe berdasarkan pembebanan berupa gaya. Dari analisa elastik didapatkan nilai deformasi maksimum sebesar 304,70 mm dengan tegangan sebesar $8,35 \times 10^8$ Pa.



Gambar 9. Grafik kenaikan nilai deformasi tangki bilobe pada pembebanan *internal pressure*

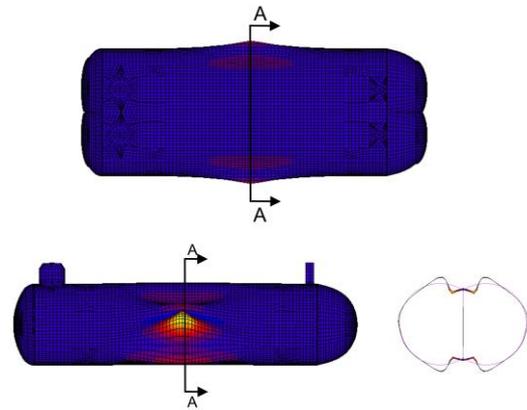
Pada gambar 9 menunjukkan hubungan antara *pressure critical* dengan deformasi yang terjadi pada tangki bilobe berdasarkan pembebanan berupa *internal pressure*. Dari analisa elastik didapatkan nilai deformasi maksimum sebesar 82,42 mm dengan tegangan sebesar $7,88 \times 10^8$ Pa.



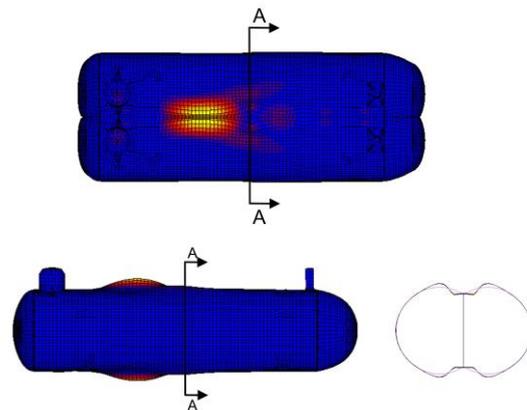
Gambar 10. Grafik kenaikan nilai deformasi tangki bilobe pada pembebanan *combined*

Pada gambar 10 menunjukkan hubungan antara *force* dan *pressure critical* dengan deformasi yang terjadi pada tangki bilobe berdasarkan pembebanan berupa *force-internal pressure*. Dari analisa elastik didapatkan nilai deformasi maksimum sebesar 126.60 mm dengan tegangan sebesar $1,70 \times 10^9$ Pa.

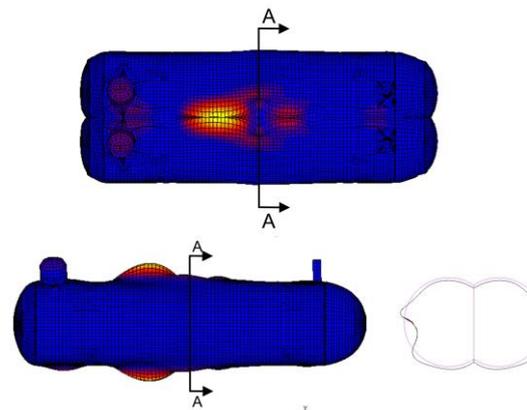
Dengan demikian dapat diketahui bahwa perubahan deformasi pada model dengan perbedaan pembebanan menunjukkan bahwa deformasi cenderung menurun dengan urutan $\delta_{force} > \delta_{combined} > \delta_{internal pressure}$.



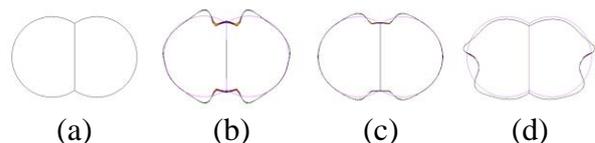
Gambar 11. Deformasi pada skenario 1



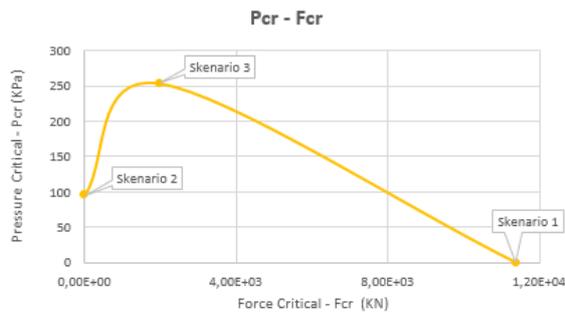
Gambar 12. Deformasi pada Skenario 2



Gambar 13. Deformasi pada skenario 3



Gambar 14. Deformasi pada tangki bilobe untuk: (a) Model Normal, (b) *force*, (c) *internal pressure*, (d) *combined*



Gambar 15. Grafik perbedaan *moment-pressure critical* pada setiap skenario

Gambar 15 menunjukkan hubungan antara *Force critical* dan *pressure critical* pada variasi pembebanan. Jika dilihat pada grafik dapat diketahui nilai *force* maupun *pressure critical* yang dibutuhkan untuk model tersebut agar dapat mengetahui kondisi sesaat sebelum terjadinya *buckling*.

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan terhadap variasi pembebanan pada tangki bilobe maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Nilai deformasi yang dihasilkan menunjukkan bahwa $\delta_{force} > \delta_{combined} > \delta_{internal\ pressure}$.
2. Nilai *force critical* yang dibutuhkan sesaat sebelum terjadinya *buckling* adalah sebesar $1,14 \times 10^4$ KN.
3. Nilai *internal pressure* yang dibutuhkan sesaat sebelum terjadinya *buckling* adalah sebesar $9,55 \times 10^1$ KPa.
4. Untuk *combined*, nilai yang dibutuhkan sesaat sebelum terjadinya *buckling* yaitu dengan *force-pressure critical* sebesar $1,97 \times 10^3$ KN dan $2,54 \times 10^2$ KPa.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya tidak hanya terbatas pada satu dimensi tangki, dapat dilakukan variasi panjang (L).
2. Penambahan variasi variabel diameter (d) dan tebal (t) pada tangki bilobe.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Tamura, S. et.al, 2013. *MHI-DILAM (Direct Loading Analisis Method) – New LPG Carrier Adopting Highly Reliable Cargo Tank IMO Tank Type B*. Japan: Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 50 No.2 .

- [2] Smith, J. et.al. 2001. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics Sixth Edition*. New York: McGraw-Hill.
- [3] Muameleci, Mert. 2014. *Linear and Nonlinear Buckling Analyses of Plates using the Finite Element Method*. Thesis. Linköping: Department Management and Engineering, Linköping University.
- [4] Popov, E.P., 1978. *Mechanics of Material, 2nd Edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- [5] Nursyafitrie, Tanellia. 2016. “Analisa *Buckling* Tiang *Mast Crane* Akibat Beban Lentur Menggunakan Software Berbasis Metode Elemen Hingga”. Semarang: UNDIP.