



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Pipa *Miter Bend* Dengan Variasi Sudut Akibat Beban Momen *Bending*

Abdi Wira Etua Sihombing¹, Hartono Yudo¹, Wilma Amiruddin¹

¹Laboratorium Konstruksi & Struktur Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: abdiwira12@gmail.com hartonoyudo@yahoo.com wisilmiw@yahoo.com

Abstrak

Pipa *miter bend* merupakan salah satu jenis pipa yang memiliki peran penting dalam suatu sistem perpipaan yang digunakan untuk mengalirkan dan membelokkan muatan fluida baik muatan cair maupun gas. Salah satu kegagalan struktur yang terjadi pada sambungan pipa *miter bend* yaitu *buckling* atau tekuk. Pada penelitian ini variasi model pipa *miter bend* berdasarkan perbandingan jumlah segmen serta diameter dan tebal pipanya (D/t) dengan variasi kondisi pembebanan *inplane*, *outplane*, dan *in-outplane*. Pada analisa *buckling* ini menggunakan metode elemen hingga dengan mempertimbangkan pengaruh variasi sudut θ terhadap nilai momen dan deformasi ovalisasi pada tiap variasi kondisi pembebanan. Berdasarkan hasil penelitian pada pipa *miter bend* radius 90° dengan variasi jumlah segmen yaitu 3 segmen, 4 segmen, dan 5 segmen serta kondisi pembebanan, semakin banyak jumlah segmen pada pipa dengan nilai D/t yang sama maka akan semakin besar pula momen yang diizinkan pada tiap kondisi pembebanan *inplane*, *outplane* dan *in-outplane*. Deformasi akan semakin kecil seiring dengan bertambahnya jumlah segmen dengan nilai D/t yang sama dengan variasi kondisi pembebanan.

Kata Kunci: Pipa Miter Bend, Buckling dan Deformasi

1. PENDAHULUAN

Sistem perpipaan merupakan salah satu komponen terpenting dalam dunia industri. Sistem perpipaan menjadi media pengaliran dan transportasi untuk mengalirkan sebuah muatan fluida baik cair maupun gas tentunya sistem perpipaan harus dirancang sedemikian rupa sesuai kebutuhan dan keperluan serta keselamatan pada dunia industri. Tentunya hal itu semua bergantung pada jenis fluida, berat fluida, temperatur, serta kondisi pemasangan pipa itu sendiri. Sistem perpipaan pada tiap-tiap bidang industri tentu sangat berbeda. Sebuah sistem perpipaan juga dianggap lebih aman dan efisien dibandingkan dengan jenis transportasi fluida, ataupun gas yang lain. Kebutuhan akan sistem perpipaan yang efisien maka semakin banyak pula jenis-jenis *fitting* atau instalasi pipa yang berfungsi untuk merubah arah

aliran, menyebarkan aliran, membesarkan serta mengecilkan aliran fluida. *Fitting* merupakan salah satu pemain utama dalam sistem perpipaan. *Fitting* merupakan komponen pipa yang terdiri dari *elbow*, *reducer*, *flange*, *tee*, *miter bend* dan lain-lainnya. *Miter Bend* adalah jenis *fitting* yang fungsinya hampir sama dengan *elbow*. Pipa *mitter bend* merupakan belokan pada sistem perpipaan yang terbuat dari potongan pipa lurus yang disambung sehingga membentuk suatu belokan. Khususnya untuk keperluan layanan sistem perpipaan yang biasa, untuk merubah arah aliran fluida tidak jarang menggunakan pipa *mitter bend* dan pada segi literature *miter bend* lebih sedikit diperhatikan dari pada pipa *elbow* [1]. Jika dua buah potong pipa lurus yang disambung dengan las dimana perubahan arah yang terbentuk lebih kecil dari 3° , maka metode desain pipa ini dianggap sama dengan mendesain

pipa lurus. Perubahan arah yang kecil ini tidak menyebabkan kenaikan tegangan yang berarti. Lain halnya jika perubahan arah dua potong pipa lurus itu lebih besar dari 3°, maka sambungan itu sudah dikategorikan sebagai *miter bend*. Tentunya jenis *fitting* ini haruslah dirancang sedemikian rupa guna menciptakan sistem aliran yang efisien dan memprioritaskan keselamatan dalam sistem penggunaannya.

Dalam Tugas akhir ini penulis ingin menganalisa *buckling* pada pipa *miter bend* dengan variasi sudut θ 22 $\frac{1}{2}$ °, 15°, dan 11 $\frac{1}{4}$ ° akibat beban momen *bending*.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pipa adalah suatu benda berbentuk lubang silinder dengan lubang di tengahnya yang berfungsi sebagai sarana transportasi atau pengaliran suatu fluida (cair atau gas) dengan mempertimbangkan efek temperatur, tekanan fluida, lokasi, serta pengaruh kondisi lingkungan sekitar.

Pada sistem perpipaan pastinya akan didukung oleh suatu komponen sistem perpipaan yang terdiri dari *flanges*, *valves*, *boltings*, *gasket* dan *fitting*. *Miter bend* merupakan salah satu jenis *fitting* pada suatu sistem perpipaan.

Pipa *Miter Bend* pada umumnya memiliki fungsi yang sama dengan *elbow* yaitu, berfungsi sebagai alat transportasi fluida. Namun ada perbedaan dari kedua jenis fitting ini. *Mitter Bend* merupakan belokan pada sistem perpipaan yang terbuat dari potongan pipa lurus yang disambung sehingga membentuk belokan. Jika dua potong pipa lurus yang disambung dengan las dimana perubahan arah yang terbentuk lebih kecil dari 3°, maka metode desain pipa ini tidak menyebabkan kenaikan tegangan yang berarti [2]. Lain halnya jika perubahan arah dua potong pipa lurus lebih dari 3° maka sambungan itu sudah dikategorikan sebagai *miter bend*. Persamaan untuk menghitung faktor tegangan untuk banyak spasi yang ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut [3].

Pipa *Miter Bend* dengan *Closely Spaced* jika jarak *miter* S :

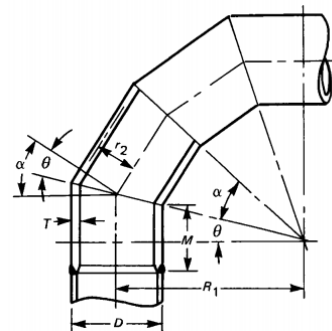
$$S < r^2 (1 + \tan \theta) \quad (1)$$

$$R_1 = \text{Bend radius} = \frac{S \cot \theta}{2} \quad (2)$$

Pipa *Miter Bend* dengan *Widely Spaced* jika jarak *miter* S :

$$S \geq r^2 (1 + \tan \theta) \quad (3)$$

$$R_1 = \frac{r^2 (1 + \tan \theta)}{2} \quad (4)$$



Gambar 1. Dimensi Miter Bend

Dimana:

θ = Sudut potong pipa miter, derajat

α = Sudut perubahan pipa, derajat

$R1$ = *effective* radius pipa mitter bend

$r2$ = Radius pipa, inchi

T = ketebalan pipa miter

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. [4]

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. [5]

Nilai momen pipa akibat beban bending dapat didapatkan dengan rumus sebagai berikut : [6]

$$M = \sigma_y \cdot \pi \cdot r^2 \cdot t \text{ (Nm)} \quad (5)$$

dimana, σ_y = *yield stress*; r = jari-jari pipa; t = tebal pipa

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data Model Pipa Elbow

Tabel 1. Data Dimensi Pipa *Miter Bend*

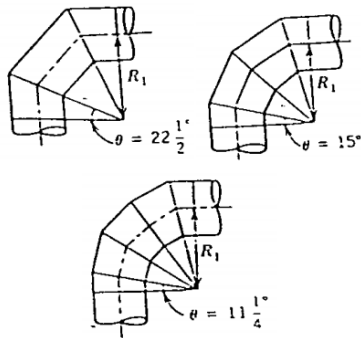
Data Pipa (D/t)	D (m)	t (m)
67,7	0.4064	0.006
88,9	0.7122	0.008

$$\sigma_{yield} = 2.40 \times 10^8 \text{ Pa}$$

Variasi Sudut Pipa Elbow

- $\theta_1 = 22,5^\circ$
- $\theta_2 = 15^\circ$

- $\theta_3 = 11,25^\circ$

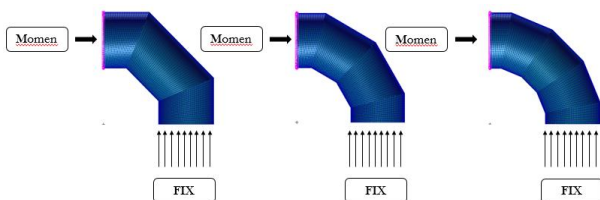


Gambar 2. Variasi jumlah segment pada pipa Miter Bend.

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

- Pembuatan geometri awal struktur pipa *miter bend* yang akan dianalisa.
- Penentuan jumlah elemen yang akan diberikan pada model geometri tersebut.
- Pembuatan elemen dari hasil pemodelan geometri struktur pipa *miter bend* yang akan dianalisa (*mesh generation*).
- Pemberian kondisi batas pada pipa *miter bend* (*constraint/boundary condition*).
- Penentuan jenis material dan properti yang digunakan sesuai dengan material yang digunakan.
- Pemberian kondisi pembebanan pada pipa *miter bend* (*loading condition*).
- Analisa.

Penentuan kondisi batas pada pipa *miter bend*:



Gambar 3. Kondisi Batas Model Pipa Miter Bend .

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Pembebanan

Pembebanan yang akan digunakan dihitung sesuai dengan dimensi pipa *miter bend* yang dianalisa, serta di aplikasikan sesuai dengan kondisi *inplane*, *outplane*, *inplane outplane* sesuai dengan

perbandingan D/t pipa *miter bend*. Beban yang akan diaplikasikan ke model adalah beban momen (M).

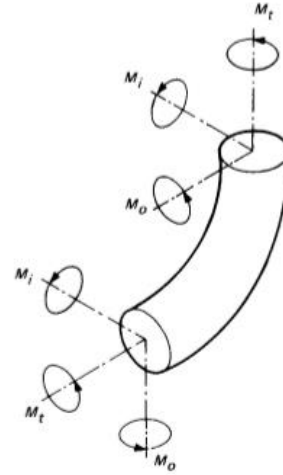
Pembebanan pada pipa *miter bend* dengan D/T sama tiap segmen.

- Pembebanan Pipa Miter Bend 3, 4 dan 5 segmen dengan D/T 67.7

$$M = 2.40 \times 10^8 \cdot 3.14 \cdot (0.2032)^2 \cdot 0.006$$

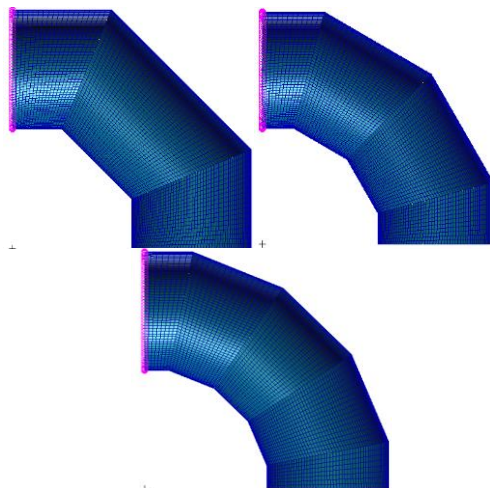
$$M = 186867.829 \text{ Nm}$$

4.2. Kondisi Pembebanan

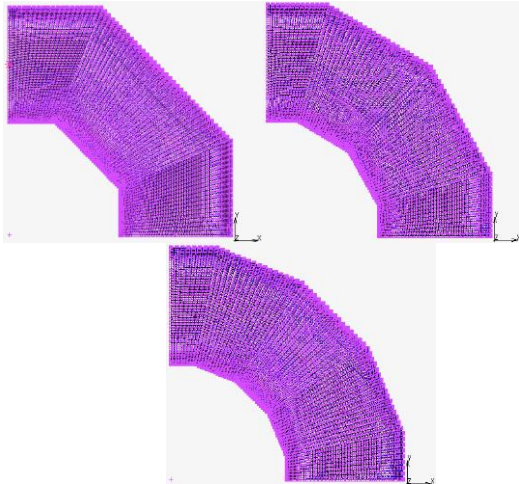


Gambar 4. Kondisi Pembebanan Pipa Miter Bend Berdasarkan ASME B.31.3.

4.3. Hasil Permodelan

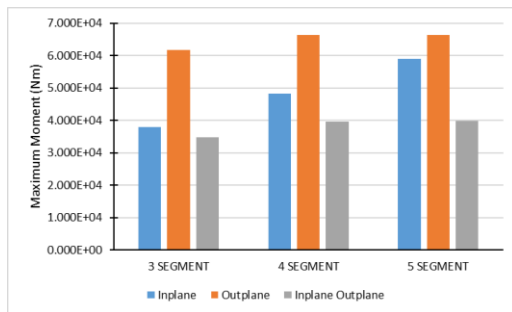


Gambar 5. Model Pipa *Miter Bend* di MSC Patran



Gambar 6. Model Pipa *Miter Bend* di MSC Marc Mentat

4.4. Perbandingan Nilai Momen yang Diizinkan dengan D/t sama pada Tiap Segmen.



Gambar 7. Diagram Hubungan Nilai Momen yang diizinkan dengan Variasi Jumlah Segmen dengan Nilai D/t Sama

Tabel 2. Data *Buckling Moment*

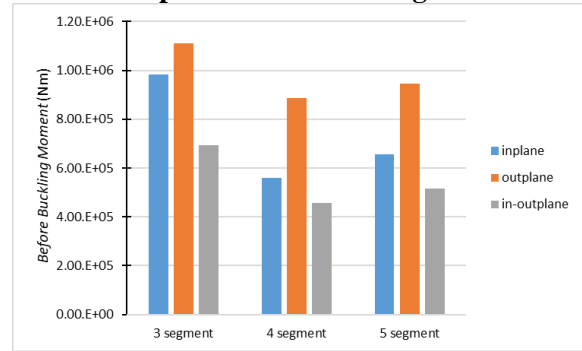
Momen D/T 67,7

D/t	Inplane	Outplane	In-outplane
3 segmen	$3,80 \times 10^4$	$6,16 \times 10^4$	$3,47 \times 10^4$
4 segmen	$4,83 \times 10^4$	$6,62 \times 10^4$	$3,95 \times 10^4$
5 segmen	$5,90 \times 10^4$	$6,63 \times 10^4$	$3,98 \times 10^4$

Gambar 7. menunjukkan hubungan antara nilai momen yang diizinkan dengan variasi segment pipa *miter bend* dengan D/t yang sama pada tiap segmen. Beban diberikan sesuai dengan kondisi *Inplane*, *Outplane* dan *In-outplane*.

Pada diagram tersebut dapat diketahui bahwa semakin banyak jumlah segmen pada pipa *miter bend* yang ditandai dengan semakin kecilnya sudut potong pipa θ maka semakin besar pula beban maksimum yang dapat ditahan oleh pipa dengan perbandingan D/t yang sama pada tiap segmen.

4.5. Perbandingan Nilai *Before Buckling Moment* terhadap Variasi Jumlah Segmen



Gambar 9. Diagram Hubungan Nilai Momen dengan Variasi Jumlah Segment

Tabel 3. Data *Buckling Moment*

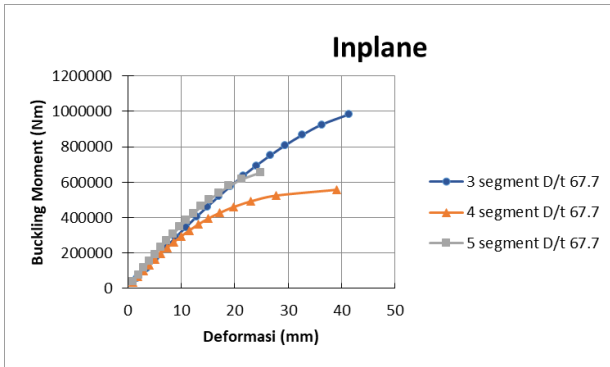
Momen pada D/T 67,7

D/t	Inplane	Outplane	In-outplane
3 segmen	$9,83 \times 10^5$	$1,11 \times 10^6$	$6,93 \times 10^5$
4 segmen	$5,58 \times 10^5$	$8,86 \times 10^5$	$4,56 \times 10^5$
5 segmen	$6,56 \times 10^5$	$9,46 \times 10^5$	$5,16 \times 10^5$

Gambar 9. menunjukkan hubungan antara Momen yang terjadi dengan variasi jumlah segmen pada pipa *miter bend* yang ditandai dengan semakin kecilnya sudut potong pipa θ dengan nilai D/t yang sama pada tiap segmen. Beban diberikan dengan kondisi *Inplane*, *Outplane* dan *In-outplane* pada pipa. Pada Diagram tersebut dapat diketahui bahwa pada pipa *miter bend* dengan D/t yang sama moment maksimum yang terjadi mengalami penurunan pada pipa 4 segmen lalu mengalami kenaikan pada pipa 5 segmen, serta moment yang terjadi pada kondisi pembebanan *outplane* memiliki *buckling moment* lebih besar dari pada kondisi pembebanan *inplane* dan *in-outplane*.

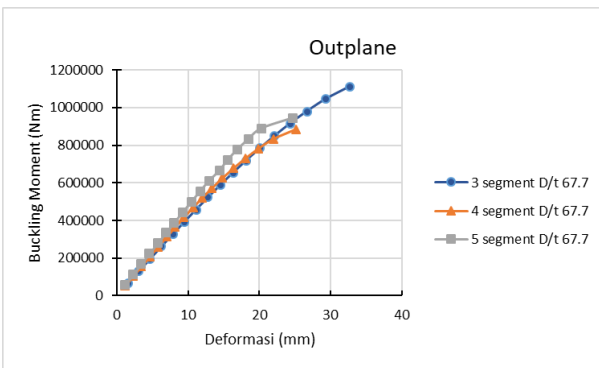
4.6. Perbandingan Nilai Momen Terhadap Deformasi pada Pipa *Miter Bend* pada Variasi Jumlah Segmen dengan Nilai D/t yang Sama.

- a. Kondisi *Inplane*



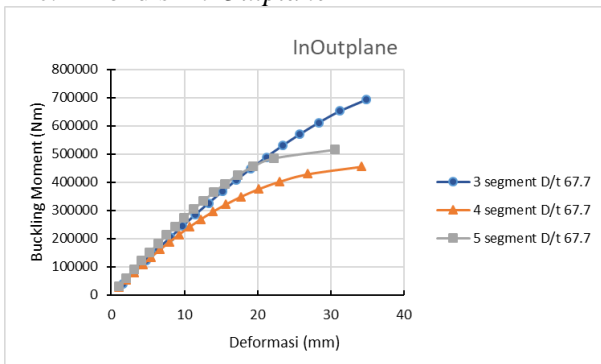
Gambar 11. Grafik Hubungan Nilai Momen terhadap Deformasi pada Pipa *Miter Bend* dengan Variasi Jumlah Segmen dengan Nilai D/t yang Sama Pada Kondisi *Inplane*

b. Kondisi *Outplane*



Gambar 12. Grafik Hubungan Nilai Momen terhadap Deformasi pada Pipa *Miter Bend* dengan Variasi Jumlah Segmen dengan Nilai D/t yang Sama pada Kondisi *Outplane*

c. Kondisi *In-Outplane*



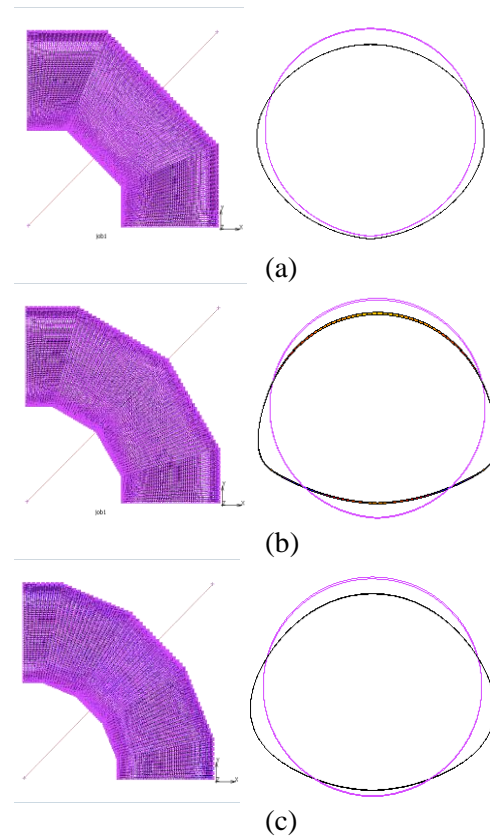
Gambar 13. Grafik Hubungan Nilai Momen terhadap Deformasi pada Pipa *Miter Bend* dengan Variasi Jumlah Segmen dengan Nilai D/t yang Sama pada Kondisi *Inplane Outplane*

Grafik pada **gambar 11, 12, dan 13** menunjukkan hubungan antara *buckling moment*

yang terjadi terhadap deformasi oval pada pipa *miter bend* dengan variasi jumlah segment pada nilai D/t yang sama. Kondisi pembebanan diberikan dengan kondisi *inplane, outplane, dan in-outplane*.

Dari grafik **gambar 11, 12, dan 13** dapat diketahui bahwa dengan semakin bertambahnya jumlah segmen pada pipa yang ditandai semakin kecilnya sudut potong pipa maka semakin kecil pula nilai deformasi yang dialami pada tiap kondisi pembebanan *inplane, outplane, in-outplane*.

Dapat diketahui deformasi pada pipa *miter bend* dengan variasi jumlah segment pada nilai D/t yang sama pada kondisi pembebanan *inplane*.



Gambar 14. Perubahan Bentuk ovalisasi pipa *Miter Bend* dengan variasi jumlah segmen.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dengan bertambahnya jumlah segmen pipa *miter bend* maka nilai momen yang diizinkan semakin besar.
2. Deformasi yang terjadi semakin kecil seiring dengan bertambahnya jumlah segmen pada pipa *miter bend* dengan nilai D/t yang sama, namun deformasi semakin bertambah pada tiap segmen seiring dengan bertambahnya nilai D/t.

3. Nilai momen pada pipa *miter bend* untuk setiap variasi sudut dapat diketahui bahwa nilai momen *outplane* cenderung lebih besar dibanding dengan momen *inplane* dan *in-outplane*.

5.2. Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat ditambahkan variasi radius pipa *miter bend*.
2. Penelitian selanjutnya dapat ditambahkan menggunakan nilai D/t yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] JOHN WILEY, S, 1956. "*Design of Piping System*", The M. W. Kellogg Company, United States of America.
- [2] The American Society of Mechanical Engineering. 2010. ASME B31.3 Piping Code. New York: ASME Press.
- [3] KANNAPPAN, S, 1986. "*Introduction to Pipe Stress Analysis*", A Wile-Interscience Publication, United States of America.
- [4] ELLENBERGER, J.P. "*Piping and Pipeline Calculations Manual*", British Library Cataloguing-in-Publication, United States of America.
- [5] Peng, Ling-Chuan, dan Tsen Long Peng. 2009. *Pipe Stress Engineering*. USA: ASME Press.
- [6] Yudo, Hartono., Takao Yoshikawa. 2014. *Buckling Phenomenon for Straight and Curved Pipe Under Pure Bending*. Journal of Marine and Science Technology. 95.