



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Kekuatan Belokan Pipa (*Elbow Pipe*) Dengan Variasi Sudut Akibat Beban Momen Bending

Bintang Nurcahyo¹⁾, Hartono Yudo¹⁾, Sarjito Jokosisworo¹⁾

¹⁾Laboratorium Konstruksi dan Struktur Kapal

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: bintang.nurcahyo@outlook.com hartonoyudo@yahoo.com sarjitojs@gmail.com

Abstrak

Sistem perpipaan adalah gabungan dari pipa-pipa yang digunakan untuk mengalirkan fluida dari suatu tempat ke tempat lain yang beroperasi pada suatu plan/rencana. Salah satu komponen yang digunakan adalah elbow. Elbow digunakan untuk menyambung pipa dan membelokkan / merubah arah aliran pipa. Salah satu kegagalan struktur yang terjadi pada pipa elbow adalah buckling atau tekuk. Pada penelitian ini pipa elbow divariasikan berdasarkan besarnya sudut (α) yaitu sudut 0o; 45o dan 90o. Terdapat tiga kondisi pembebanan yang digunakan yaitu inplane, outplane dan in-outplane. Pipa elbow dimodelkan menggunakan metode elemen hingga dengan mempertimbangkan nilai momen dan oval deformasi yang terjadi pada pipa elbow dengan variasi sudut. Dari penelitian ini ditemukan beberapa hal. Nilai kekuatan momen pada sudut pipa elbow yang kecil lebih besar daripada sudut pipa elbow yang besar. Oval deformasi yang terjadi pada pipa elbow sudut yang besar berbanding lurus dengan bertambahnya besar sudut pipa elbow.

Kata Kunci : pipa elbow, momen, bending, inplane, outplane, in-outplane, buckling, deformasi

1. PENDAHULUAN

Sistem perpipaan merupakan sebuah sistem yang sangat penting dalam kehidupan manusia dari zaman dahulu hingga zaman sekarang. Sistem perpipaan ini memiliki manfaat untuk mengalirkan fluida berupa cairan atau gas dari suatu tempat ke tempat yang lain. Pipa digunakan dalam berbagai sektor, diantaranya pertanian, perindustrian, perkapalan, konstruksi bangunan dan lain-lain.

Sistem perpipaan banyak digunakan dalam dunia perkapalan, bahkan menjadi salah satu komponen penting yang sangat menunjang sistem dalam kapal. Sebagai contoh, *bilge system, fuel oil system, cooling water system, lubricating oil system, sewage system, ballast system* dan lain-lain. Permesinan pada sistem tersebut akan dihubungkan dengan sistem perpipaan agar dapat beroperasi dengan baik. Sistem perpipaan tersebut dirancang sedemikian rupa mengikuti general arrangement kapal. *Elbow* sebagai sambungan pipa digunakan untuk membelokkan atau merubah arah

pipa. *Elbow* yang banyak digunakan memiliki sudut 45° dan 90°. Selain *elbow*, sambungan pipa yang digunakan antara lain T joint, Y joint dan lain-lain. Dalam operasionalnya, sambungan pipa akan mengalami berbagai beban, salah satunya adalah beban akibat momen *bending*.

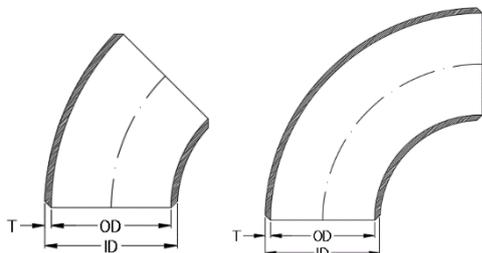
Penelitian sebelumnya telah meneliti mengenai analisa kekuatan percabangan pipa T joint dengan variasi sudut akibat beban momen *bending*, sedangkan untuk pipa *elbow* belum ada kajian tentang analisa kekuatannya dengan variasi sudut. Oleh karena itu, penulis ingin meneliti mengenai kekuatan pipa elbow dengan variasi sudut akibat beban *bending*. Pipa dimodelkan dengan menggunakan MSC Patran dan dianalisis menggunakan MSC Marc (Mentat).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Pipa adalah sebuah selongsong bundar yang membentuk saluran tertutup digunakan sebagai sarana pengaliran energi atau transportasi fluida.

Sejarah produksi pipa diawali dari keinginan manusia ingin mengalirkan air tanpa menggunakan bantuan usaha manusia, pipa besi mulai umum digunakan pada abad ke-19 untuk mengalirkan minyak bumi dan gas.[1]

Elbow merupakan salah satu fitting (sambungan pipa) yang berfungsi sebagai penyambung antar pipa atau merubah arah pipa. Lihat **Gambar 1**.

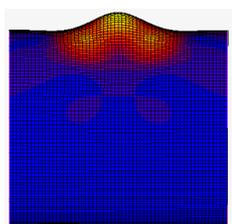


Gambar 1. Pipa *Elbow* 45° dan 90°

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 yaitu 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. Contoh *buckling* dapat dilihat pada **Gambar 2**. [5]



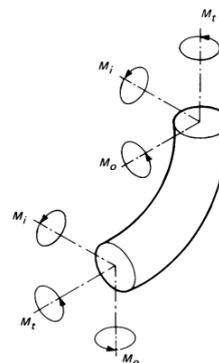
Gambar 2. *Buckling*

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

$$M = \sigma_y \times \pi \times r^2 \times t \quad (1)$$

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

Kode B31.3 mendefinisikan *in-plane* dan *out-plane* momen bending yang sesuai dengan ditunjukkan pada **Gambar 2**. [3]



Gambar 3. *In-plane and Out-plane Moments in Bends*

3. METODOLOGI PENELITIAN

Ukuran pipa *elbow* yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**. Pipa ini memiliki titik luluh (σ_y) sebesar 2.40×10^8 Pa. Kemudian model divariasikan menjadi 3 sudut yaitu 0°, 45°, 90°

Tabel 1. Data Pipa *Elbow*

Pipa <i>Elbow</i>	r (m)	t (m)
NPS 5	0.0707	0.00655
NPS 10	0.1365	0.00927

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

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

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Pembebanan

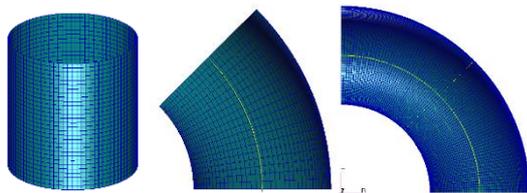
Besarnya pembebanan yang akan digunakan sudah dihitung berdasarkan dimensi utama pipa *elbow* yang dianalisa. Beban yang akan diaplikasikan ke model adalah beban momen pada saat bending.

a. Pembebanan Pipa *Elbow* NPS 5
 $M = 2.4 \times 10^8 \times 3.14 \times (0.0707)^2 \times 0.00655$
 $M = 24695.40 \text{ Nm}$

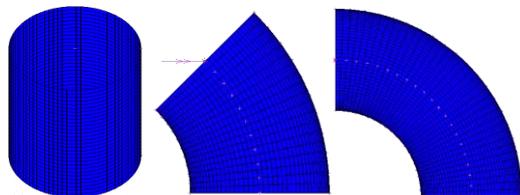
b. Pembebanan Pipa *Elbow* NPS 10
 $M = 2.4 \times 10^8 \times 3.14 \times (0.1365)^2 \times 0.00927$
 $M = 130280.95 \text{ Nm}$

4.2. Hasil Permodelan

Pembuatan model dibuat dengan menggunakan software FEM yaitu MSC Patran dan MSC Marc Mentat. Gambar model dapat dilihat pada **Gambar 4. & 5.**



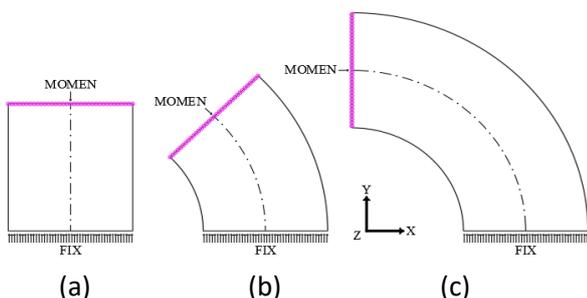
Gambar 4. Model di MSC Patran



Gambar 5. Model di MSC Marc Mentat

4.3. Penentuan Kondisi Batas

Kondisi batas untuk pipa *elbow* dapat dilihat pada **Gambar 6.**

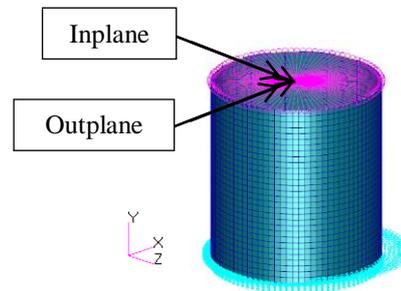


Gambar 6. Kondisi Batas Model Pipa *Elbow* (a) 0°; (b) 45°; (c) 90°

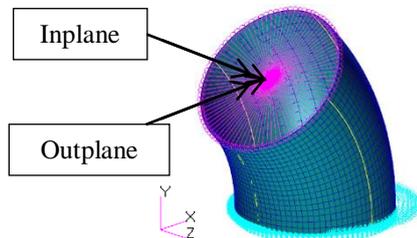
4.4. Penentuan Kondisi Pembebanan

Terdapat tiga kondisi pembebanan yang digunakan yang mengacu pada ASME B31.3 yaitu kondisi *Inplane*, *Outplane* dan *In-outplane*.

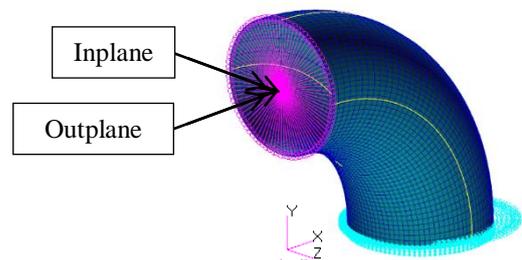
Kondisi *inplane* searah sumbu Z, kondisi *outplane* searah sumbu X dan kondisi *in-outplane* gabungan dari kondisi *inplane* dan *outplane*. Kondisi pembebanan tersebut dapat dilihat pada **Gambar 7; 8 & 9.**



Gambar 7. Kondisi Pembebanan pada Pipa *Elbow* 0°



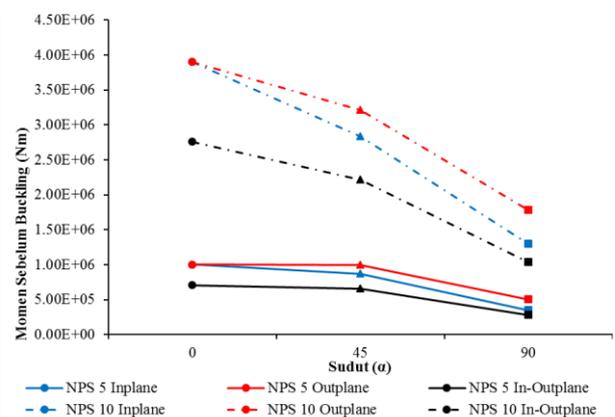
Gambar 8. Kondisi Pembebanan pada Pipa *Elbow* 45°



Gambar 9. Kondisi Pembebanan pada Pipa *Elbow* 90°

4.5. Hasil Analisa

4.5.1. Nilai Momen Sebelum *Buckling*



Gambar 11. Grafik Hubungan Nilai Momen Sebelum *Buckling* dengan Variasi Sudut Pipa *Elbow* (α)

Tabel 3. Nilai Momen Sebelum *Buckling*

NPS 5	Momen Sebelum <i>Buckling</i>		
	Sudut 0	Sudut 45	Sudut 90
Inplane	1.00E+06	8.70E+05	3.44E+05
Outplane	1.00E+06	9.94E+05	5.01E+05
In-outplane	7.07E+05	6.54E+05	2.75E+05

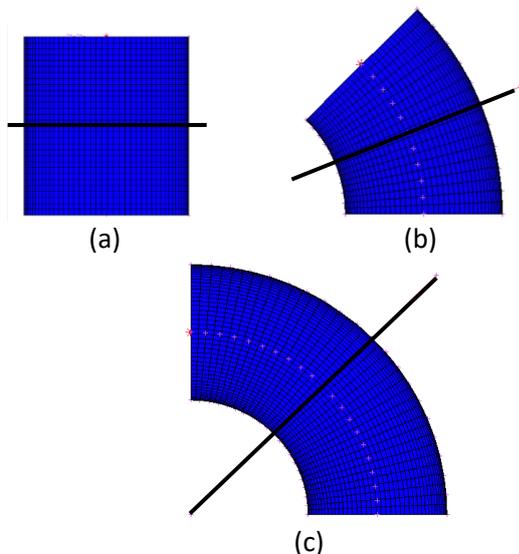
NPS 10	Momen Sebelum <i>Buckling</i>		
	Sudut 0	Sudut 45	Sudut 90
Inplane	3.90E+06	2.83E+06	1.30E+06
Outplane	3.90E+06	3.21E+06	1.78E+06
In-outplane	2.76E+06	2.22E+06	1.04E+06

Gambar 11. menunjukkan hubungan antara Momen yang terjadi dengan variasi sudut pipa *elbow* (α). Beban diberikan dengan kondisi *Inplane*, *Outplane* dan *In-outplane*.

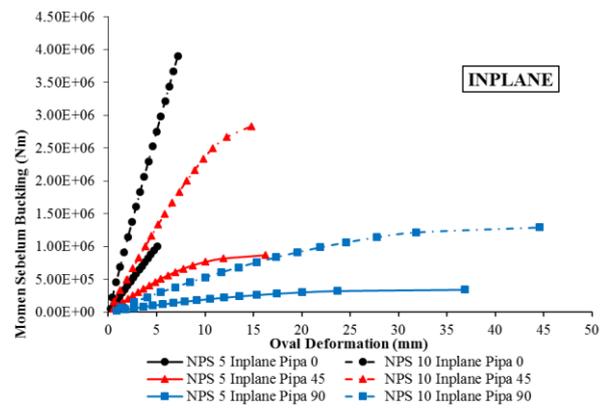
Pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa semakin besar diameter pipa (NPS), semakin besar pula momen yang terjadi pada pipa sebelum pipa tersebut mengalami *buckling*. Sedangkan semakin besar sudut pipa *elbow* (α), semakin kecil momen yang terjadi pada pipa sebelum pipa tersebut mengalami *buckling*. Nilai momen sebelum *buckling* dapat dilihat pada **Tabel 3**.

4.5.2. Oval Deformation

Oval Deformasi pada model dilihat pada tengah model pipa *elbow*. Letak pemotongan untuk melihat oval deformasi dapat dilihat pada **Gambar 12**.



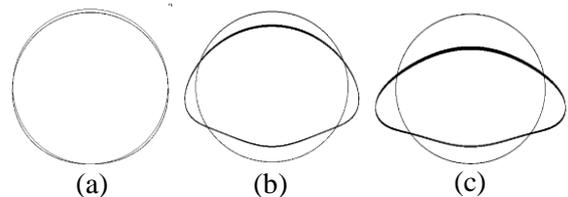
Gambar 12. Letak *Oval Deformation* pada Pipa *Elbow* (a) 0°; (b) 45° dan (c) 90°



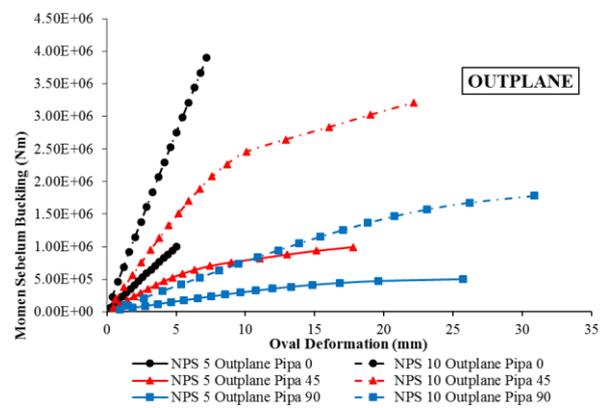
Gambar 13. Grafik Hubungan Nilai Momen terhadap Deformasi pada Pipa *Elbow* dengan Variasi Sudut (α) pada Kondisi *Inplane*

Grafik pada **Gambar 13**. menunjukkan hubungan antara momen yang terjadi terhadap deformasi pada pipa *elbow*. Beban diberikan pada kondisi *inplane*, dengan analisa elastis.

Pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa untuk kondisi *inplane*, semakin besar ukuran dimensi pipa (NPS), semakin besar pula deformasi yang terjadi dan berbanding lurus dengan sudut pipa yang semakin besar. Bentuk Oval Deformasi pada kondisi *inplane* dapat dilihat pada **Gambar 14**.



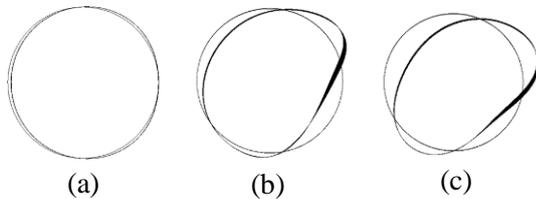
Gambar 14. Oval Deformasi Pipa *Elbow* (a) 0°; (b) 45° dan (c) 90° pada Kondisi *Inplane*



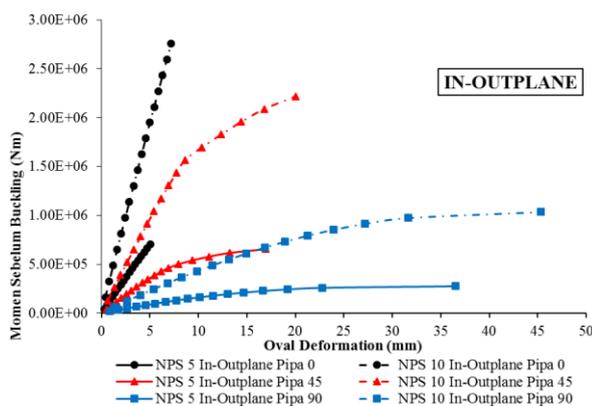
Gambar 15. Grafik Hubungan Nilai Momen terhadap Deformasi pada Pipa *Elbow* dengan Variasi Sudut (α) pada Kondisi *Outplane*

Grafik pada **Gambar 15**. menunjukkan hubungan antara momen yang terjadi terhadap deformasi pada pipa *elbow*. Beban diberikan pada kondisi *outplane*, dengan analisa elastis.

Pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa untuk kondisi *outplane*, semakin besar ukuran dimensi pipa (NPS), semakin besar pula deformasi yang terjadi dan berbanding lurus dengan sudut pipa yang semakin besar. Bentuk Oval Deformasi pada kondisi *outplane* dapat dilihat pada **Gambar 16**.



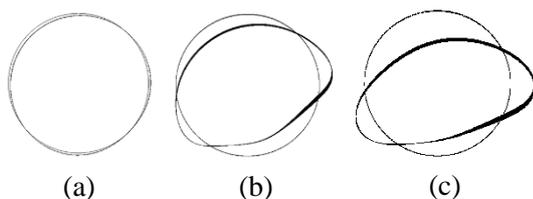
Gambar 16. Oval Deformasi Pipa Elbow (a) 0°; (b) 45° dan (c) 90° pada Kondisi *Outplane*



Gambar 17. Grafik Hubungan Nilai Momen terhadap Deformasi pada Pipa Elbow dengan Variasi Sudut (α) pada Kondisi *In-Outplane*

Grafik pada **Gambar 17**. menunjukkan hubungan antara momen yang terjadi terhadap deformasi pada pipa *elbow*. Beban diberikan pada kondisi *in-outplane*, dengan analisa elastis.

Pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa untuk kondisi *in-outplane*, semakin besar ukuran dimensi pipa (NPS), semakin besar pula deformasi yang terjadi dan berbanding lurus dengan sudut pipa yang semakin besar. Bentuk Oval Deformasi pada kondisi *in-outplane* dapat dilihat pada **Gambar 18**.



Gambar 18. Oval Deformasi pada Pipa Elbow (a) 0°; (b) 45° dan (c) 90° pada Kondisi *In-outplane*

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dengan bertambahnya besar sudut pipa *elbow* maka nilai momen sebelum *buckling* yang terjadi semakin kecil
2. Oval deformasi yang terjadi semakin besar seiring dengan bertambahnya besar sudut pipa *elbow*

5.2. Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat ditambahkan variasi sudut dan ukuran pipa *elbow* lainnya.
2. Penelitian selanjutnya dapat ditambahkan analisa dengan beban yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ambarita, Andreas Geraldine. 2016 “*Analisis Tekuk Kritis Pada Pipa Akibat Tekanan Internal*”. Semarang: UNDIP.
- [2] Corporation, TK. 2016. “*Technical Data Handbook for Butt Weld Pipe Fittings*”. Busan: TK Corporation.
- [3] Kannappan, Sam. 1985. “*Introduction to Pipe Stress Analysis*”. Tennessee: John Wiley & Sons, Inc.
- [4] Muameleci, Mert. 2014. “*Linear and Nonlinear Buckling Analyses of Plates using the Finite Element Method*”. Thesis. Linköping: Department Management and Engineering, Linköping University.
- [5] Nursyafitrie, Tanellia. 2016. “*Analisa Buckling Tiang Mast Crane Akibat Beban Lentur Menggunakan Software Berbasis Metode Elemen Hingga*”. Semarang: UNDIP.
- [6] Yudo, Hartono. 2015. “*Buckling Phenomenon for imperfect pipe under pure bending*”. Journal of Marine and Science Technology