



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Kekuatan Pipa *Elbow* 90° dengan Variasi D/t pada *Pipeline*, Akibat Beban Momen *Bending*

Anggita Firda Renatasari¹⁾, Hartono Yudo¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾

¹⁾Laboratorium Konstruksi dan Struktur Kapal

¹⁾Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: anggitafr@gmail.com hartonoyudo@yahoo.com pujomulyatno2@gmail.com

Abstrak

Pipa elbow 90° memiliki peran penting dalam suatu sistem perpipaan yaitu digunakan sebagai sambungan pipa dan membelokkan arah aliran pipa, salah satu kegagalan struktur yang terjadi pada sambungan pipa elbow 90° yaitu buckling atau tekuk yang diakibatkan oleh variasi kondisi pembebanan. Pada penelitian ini variasi model pipa elbow 90° berdasarkan perbandingan diameter dan tebal pipanya (D/t) yaitu 29,45 ; 53,31 dan 79,96 dengan variasi kondisi pembebanan inplane, outplane, dan in-outplane. Analisis buckling yang dilakukan menggunakan metode elemen hingga dengan mempertimbangkan nilai momen dan deformasi oval yang terjadi pada tiap variasi kondisi pembebanan. Berdasarkan hasil penelitian dengan variasi D/t dan kondisi pembebanan, maka ditemukan bahwa semakin besar nilai D/t pada pipa elbow 90° maka nilai modulus penampang semakin naik sehingga momen yang terjadi semakin besar dengan yield stress tetap pada setiap variasi kondisi pembebanan yaitu D/t 79,96 dengan nilai momen sebelum buckling sebesar $4,5 \times 10^6$ Nm pada kondisi pembebanan outplane, namun dengan semakin besarnya nilai D/t pipa elbow 90° maka semakin kecil nilai deformasi oval yang terjadi pada tiap variasi kondisi pembebanan.

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

1. PENDAHULUAN

Sistem perpipaan adalah sistem saluran tertutup yang digunakan untuk mendistribusikan suatu fluida berbentuk cair maupun gas dari satu tempat ke tempat lainnya baik pada bidang *offshore* maupun *onshore*. Untuk distribusi fluida tersebut tentunya dibutuhkan sambungan dan percabangan pipa agar sistem perpipaan menjadi lebih efisien.

Pada sambungan pipa salah satu yang digunakan adalah sambungan pipa *elbow* dengan sudut 90°. Sambungan ini sering mengalami *buckling* atau tekuk yang diakibatkan oleh beban yang berupa tekanan internal, temperatur maupun akibat beban momen yang bekerja pada pipa tersebut. Pada sambungan pipa, tegangan yang terjadi akibat beban akan lebih besar dibanding dengan tegangan yang letaknya jauh dari sambungan pipa.

Hal ini diakibatkan oleh adanya konsentrasi tegangan pada sambungan pipa. Pipa *elbow* sudut 90° sering ditemukan untuk menyambungkan pipa satu dengan lainnya, pada sambungan tersebut sering kali terjadi *buckling*.

Pada *marine industry*, pipa *elbow* 90° memiliki peran penting dalam sistem perpipaan. Sistem perpipaan harus dibangun secara efisien berdasarkan segi keamanan dan penempatannya dalam pengoperasiannya. Kegunaan sistem perpipaan dalam *marine industry* adalah sistem pompa pada kapal (pompa *ballast*, bilga, sanitari, pemadam kebakaran), pipa *scupper*, pipa *sewage*, sistem ventilasi dan sistem pipa duga/udara.

Berdasarkan hal tersebut penulis ingin menganalisis kekuatan sambungan pipa *elbow* dengan sudut 90° dengan variasi perbandingan diameter pipa (D) dan tebal pipa (t) untuk mengetahui kekuatan *buckling* akibat beban

bending. Pipa *elbow* 90° akan dimodelkan menggunakan *software* MSC Patran dan analisa menggunakan *software* MSC Marc (Mentat).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian mengenai fenomena *buckling* akibat momen *bending* telah dilakukan untuk pipa lurus dan pipa tekuk dengan mempertimbangkan variasi kondisi pembebanan yang diberikan pada pipa. Dari penelitian tersebut ditemukan bahwa pipa dinding tebal yaitu dengan nilai D/t yang kecil akan *buckle* secara plastis[3]. Untuk itu penulis ingin melakukan penelitian lebih spesifik terhadap pipa *elbow* 90° berdinding tebal dengan variasi D/t 29,45 ; 53.31 ; 79,96 menggunakan permodelan metode elemen hingga.

Analisa struktur adalah teknik atau prosedur untuk mengevaluasi integritas struktur teknik berdasarkan kemampuannya dalam menahan beban. Analisis ini diperlukan untuk mengkaji permasalahan-permasalahan yang terjadi pada struktur, agar dapat diketahui tingkat kelayakan dan keselamatannya.[4]

Metode elemen hingga atau sering disebut *Finite Element Analysis (FEA)* merupakan sebuah metode yang menggunakan pendekatan numerik untuk menganalisa sebuah struktur untuk mendapatkan solusi pendekatan dari suatu permasalahan.

Buckling atau penekukan dapat didefinisikan sebagai sebuah fenomena kegagalan yang terjadi akibat tekanan komprehensif yang terjadi pada sebuah struktur sehingga menyebabkan terjadinya perubahan bentuk struktur tersebut berupa defleksi lateral ke bentuk kesetimbangannya yang lain [1].

Buckling analysis adalah teknik yang digunakan untuk menentukan beban tekuk kritis beban dimana struktur menjadi tidak stabil dan bentuk modulus melengkung.

Fenomena *buckling* dapat dibagi menjadi dua bagian: tekuk global dan tekuk lokal. Contoh khas tekuk global dan seluruh struktur melengkung sebagai satu unit, sementara tekuk lokal adalah tekuk lokal yang terjadi pada elemen-elemen pelat [2]. **Gambar 1.** menunjukkan contoh terjadinya *buckling* pada pipa *elbow* 90°.

Nilai momen pipa akibat beban *bending* didapatkan dengan rumus sebagai berikut : [3]

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

Nilai momen yang terjadi dipengaruhi oleh modulus penampang pipa, berikut adalah persamaan rumusnya: [6]

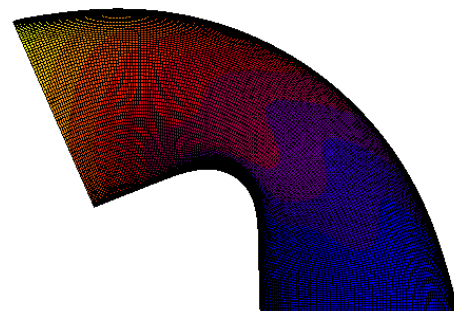
$$M = \sigma_y \times Z \quad (2)$$

Nilai Z didapatkan dari rumus : [6]

$$Z = 2 \times \pi \times r^2 \times t \quad (3)$$

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

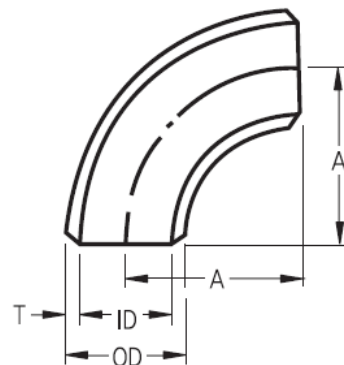
Nilai momen yang telah didapatkan dari rumus diatas kemudian dijadikan sebagai beban momen pada *software* Msc Marc Mentat sesuai variasi kondisi pembebanan.



Gambar 1. Contoh *Buckling*

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Data Model



Gambar 2. Pipa *Elbow* 90° [5]

Gambar 2. menunjukkan tebal, diameter luar, diameter dalam dan radius pipa.

Data dimensi pipa *elbow* yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**. Pipa ini memiliki *yield stress* (σ_y) sebesar 2.40×10^8 Pa.

Tabel 1. Data Pipa *Elbow*

| OD (m) | r (m) | t (m) | OD/t |
|--------|--------|---------|-------|
| 0.273 | 0.1365 | 0.00927 | 29.45 |
| 0.508 | 0.254 | 0.00953 | 53.31 |
| 0.762 | 0.381 | 0.00953 | 79.96 |

Langkah pembuatan model metode elemen hingga untuk kemudian dianalisa secara garis besar adalah sebagai berikut:

- Pembuatan model geometri awal struktur pipa *elbow* pada *software* Msc Patran.
- Penentuan jumlah dan jarak elemen yang diberikan pada model geometri.
- Pembuatan elemen dari hasil model geometri pipa *elbow* yang selanjutnya akan dianalisa.
- Penentuan jenis material dan properti yang digunakan.
- Pemberian kondisi batas (*displacement constraint/boundary condition*).
- Pemberian kondisi pembebanan (*loads*).
- Menganalisa model yang sudah dibuat pada *software* Msc Marc Mentat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Pembebanan

Beban diberikan di titik tengah ujung tiang bagian atas pada setiap variasi model dengan arah beban yang berbeda sesuai dengan prinsip *inplane*, *outplane* dan kombinasi *inplane outplane*.

a. Pembebanan pada D/t 29.45
 $M = 2.4 \times 10^8 \times 3.14 \times (0.1365)^2 \times 0.00927$
 $M = 130280.9508 \text{ Nm}$

b. Pembebanan pada D/t 53.31
 $M = 2.4 \times 10^8 \times 3.14 \times (0.254)^2 \times 0.00953$
 $M = 463763.1278 \text{ Nm}$

c. Pembebanan pada D/t 53.31
 $M = 2.4 \times 10^8 \times 3.14 \times (0.381)^2 \times 0.00953$
 $M = 1043467.037 \text{ Nm}$

4.2. Perhitungan Modulus Penampang

Besarnya nilai Z atau modulus penampang mempengaruhi beban momen yang bekerja pada pipa. Berikut adalah perhitungan modulus penampang pada pipa :

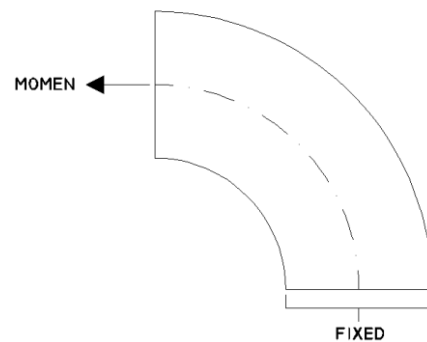
a. Modulus Penampang pada D/t 29.45
 $Z = 2 \times 3.14 \times (0.1365)^2 \times 0.00927$
 $Z = 0.001086 \text{ m}^3$

b. Modulus Penampang pada D/t 53.31
 $Z = 2 \times 3.14 \times (0.254)^2 \times 0.00953$
 $Z = 0.003865 \text{ m}^3$

c. Modulus Penampang pada D/t 79.96
 $Z = 2 \times 3.14 \times (0.381)^2 \times 0.00953$
 $Z = 0.008696 \text{ m}^3$

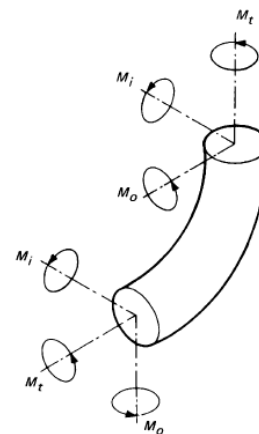
4.3. Penentuan Kondisi Batas

Kondisi batas untuk pipa *elbow* dapat dilihat pada **Gambar 3**. Kondisi batas diletakkan pada bagian *bottom* pipa *elbow* dan beban momen diberikan pada ujung pipa lainnya.



Gambar 3. Kondisi Batas

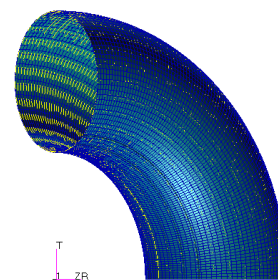
4.4. Kondisi Pembebanan *Inplane* dan *Outplane*



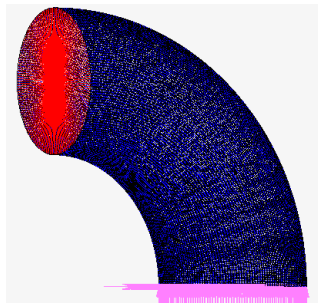
Gambar 4. Kondisi Pembebanan *Inplane* dan *Outplane*[7]

Gambar 4. menunjukkan variasi kondisi pembebanan pada pipa *elbow* 90° yang sesuai dengan ASME B31.3.

4.5. Hasil Permodelan



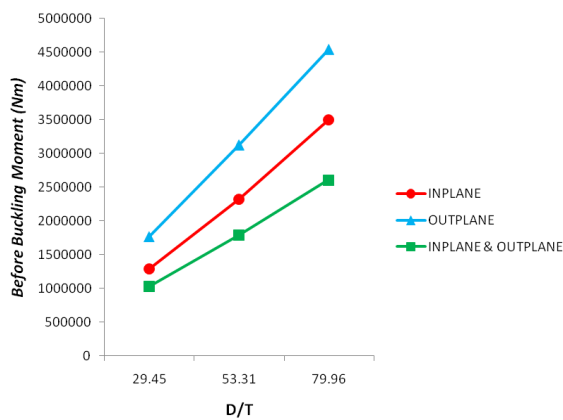
Gambar 5. Model di MSC Patran



Gambar 6. Model di MSC Marc Mentat

Gambar 5. dan **gambar 6.** adalah hasil model yang sudah dibuat pada *software* berbasis FEM yaitu pada Msc Patran dan Msc Marc Mentat.

4.6. Nilai Before Buckling Moment



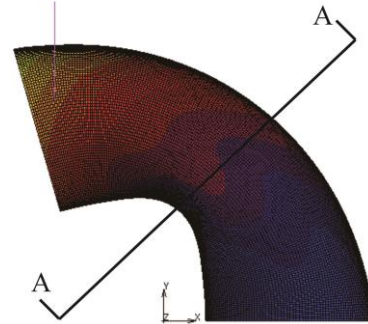
Gambar 7. Grafik Hubungan Nilai *Before Buckling Moment* dengan Variasi D/t Pipa *Elbow* 90°

Tabel 2. Nilai *Before Buckling Moment* pada Variasi D/t Pipa *Elbow* 90°

| OD/t | Momen <i>Inplane</i> | Momen <i>Outplane</i> | Momen <i>In-outplane</i> |
|-------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 29.45 | 1.3 × 10 ⁶ | 1.8 × 10 ⁶ | 1.0 × 10 ⁶ |
| 53.31 | 2.3 × 10 ⁶ | 3.2 × 10 ⁶ | 1.8 × 10 ⁶ |
| 79.96 | 3.5 × 10 ⁶ | 4.5 × 10 ⁶ | 2.6 × 10 ⁶ |

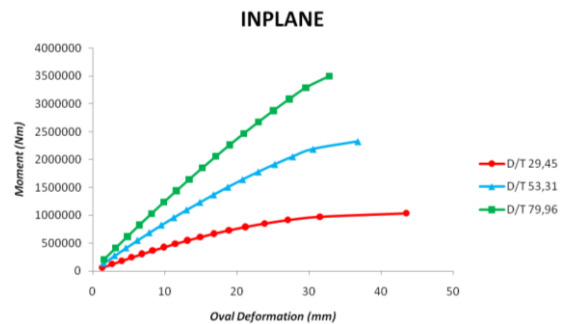
Gambar 7. menunjukkan hubungan antara nilai *before buckling moment* yang terjadi dengan variasi D/t pipa *elbow* 90°. Variasi kondisi pembebanan berupa *inplane*, *outplane* dan *in-outplane*. Pada gambar tersebut dapat diketahui bahwa nilai D/t yang semakin besar maka besar pula nilai momen yang terjadi pada pipa. Sedangkan semakin kecil nilai D/t pipa maka nilai momennya juga kecil. Serta dapat diketahui bahwa pada beban *outplane* memiliki nilai *before buckling moment* yang lebih tinggi dibandingkan beban *inplane* dan *in-outplane*.

4.7. Oval Deformation



Gambar 8. Letak Potong *Oval Deformation*

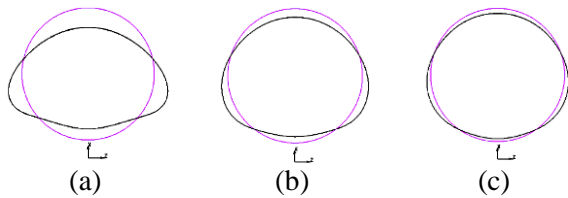
Gambar 8. menunjukkan letak potong deformasi oval pada setiap variasi kondisi pembebanan yaitu *inplane*, *outplane* dan *in-outplane*.



Gambar 9. Grafik Hubungan Nilai *Moment* terhadap *Oval Deformation* Pipa *Elbow* 90° Kondisi *Inplane*

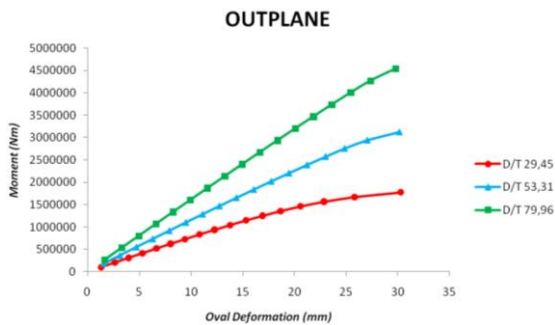
Grafik pada **gambar 9** menunjukkan hubungan antara momen yang terjadi terhadap deformasi oval pada pipa *elbow*. Pembebanan diberikan dengan kondisi *inplane*. Sumbu x (absis) menunjukkan nilai deformasi oval pipa dan sumbu y (ordinat) menunjukkan nilai *buckling moment* yang terjadi.

Dari grafik **gambar 9** dapat diketahui bahwa semakin besar nilai D/t pipa *elbow* maka makin besar pula momen yang dibutuhkan tetapi nilai deformasi yang terjadi pada pipa semakin kecil dan atau dengan semakin kecil nilai D/t pipa *elbow* maka makin kecil pula momen yang dibutuhkan tetapi nilai deformasi yang terjadi pada pipa semakin besar.



Gambar 10. Perubahan Bentuk *Oval Deformation* pada Kondisi *Inplane* (a) D/t 29,45 ; (b) D/t 53,31 ; D/t 79,96

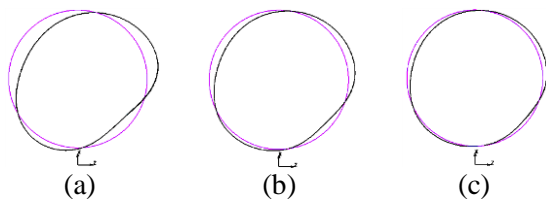
Gambar 10 menunjukkan perubahan bentuk deformasi oval pipa *elbow* setelah diberikan variasi kondisi pembebanan.



Gambar 11. Grafik Hubungan Nilai *Moment* terhadap *Oval Deformation* Pipa *Elbow* 90° Kondisi *Outplane*

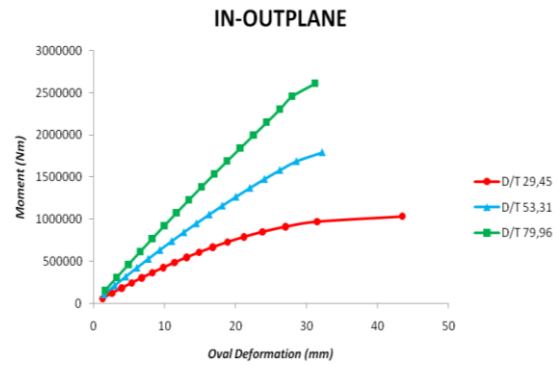
Grafik pada **gambar 11** menunjukkan hubungan antara momen yang terjadi terhadap deformasi oval pada pipa *elbow*. Pembebanan diberikan dengan kondisi *outplane*. Sumbu x (absis) menunjukkan nilai deformasi oval pipa dan sumbu y (ordinat) menunjukkan nilai *buckling moment* yang terjadi.

Dari grafik **gambar 11** dapat diketahui bahwa semakin besar nilai D/t pipa *elbow* maka makin besar pula momen yang dibutuhkan tetapi nilai deformasi yang terjadi pada pipa semakin kecil dan atau dengan semakin kecil nilai D/t pipa *elbow* maka makin kecil pula momen yang dibutuhkan tetapi nilai deformasi yang terjadi pada pipa semakin besar.



Gambar 12. Perubahan Bentuk *Oval Deformation* pada Kondisi *Outplane* (a) D/t 29,45 ; (b) D/t 53,31 ; D/t 79,96

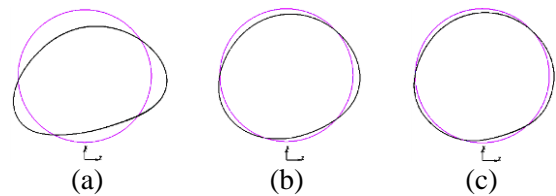
Gambar 12 menunjukkan perubahan bentuk deformasi oval pipa *elbow* setelah diberikan variasi kondisi pembebanan.



Gambar 13. Grafik Hubungan Nilai *Moment* terhadap *Oval Deformation* Pipa *Elbow* 90° Kondisi *In-outplane*

Grafik pada **gambar 13** menunjukkan hubungan antara momen yang terjadi terhadap deformasi oval pada pipa *elbow*. Pembebanan diberikan dengan kondisi *in-outplane*. Sumbu x (absis) menunjukkan nilai deformasi oval pipa dan sumbu y (ordinat) menunjukkan nilai *buckling moment* yang terjadi.

Dari grafik **gambar 13** dapat diketahui bahwa semakin besar nilai D/t pipa *elbow* maka makin besar pula momen yang dibutuhkan tetapi nilai deformasi yang terjadi pada pipa semakin kecil dan atau dengan semakin kecil nilai D/t pipa *elbow* maka makin kecil pula momen yang dibutuhkan tetapi nilai deformasi yang terjadi semakin besar.



Gambar 14. Perubahan Bentuk *Oval Deformation* pada Kondisi *In-outplane* (a) D/t 29,45 ; (b) D/t 53,31 ; D/t 79,96

Gambar 14 menunjukkan perubahan bentuk deformasi oval pipa *elbow* setelah diberikan variasi kondisi pembebanan.

Selain itu dapat diketahui bahwa pada kondisi beban *inplane* deformasi oval pipa *elbow* 90° memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan kondisi beban *outplane* dan *in-outplane*.

5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Dengan bertambahnya nilai D/t pada pipa *elbow* 90° maka nilai modulus penampang semakin naik sehingga momen yang terjadi semakin besar dengan *yield stress* tetap

pada setiap variasi kondisi pembebanan yaitu *inplane*, *outplane* dan *in-outplane*.

2. Deformasi yang terjadi semakin kecil seiring bertambahnya nilai D/t dan nilai momen pipa *elbow* 90° pada setiap variasi kondisi pembebanan.

5.2. Saran

1. Penelitian selanjutnya dapat ditambahkan dengan analisa menggunakan beban yang lain.
2. Penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan penambahan variasi sudut dengan nilai D/t yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Campbell, W. Ting, P. Aghssa, C. C. Hoff. 1993. *Buckling and Geometric Nonlinear Analysis of a Tie Rod in MSC Nastran Version 68*. Arlington: Worlds Users Conference.
- [2] Muameleci, Mert. 2014. *Linear and Nonlinear Buckling Analyses of Plates using the Finite Element Method*. Thesis. Linköping: Department Management and Engineering, Linköping University.
- [3] Yudo, Hartono., Takao Yoshikawa. 2014. *Buckling Phenomenon for Straight and Curved Pipe Under Pure Bending*. Journal of Marine and Science Technology.
- [4] Zakki, Ahmad Fauzan. 2014. *Buku Ajar Metode Elemen Hingga*. Semarang : UNDIP.
- [5] Corporation, TK. 2016. *Technical Data Handbook for Butt Weld Pipe Fittings*. Busan: TK Corporation.
- [6] Popov, E. P. 1978. *Mechanics of Material, 2nd Edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- [7] Kannappan, Sam. 1986. *Introduction to Pipe Stress Analysis*. John Wiley & Sons, Inc., U.S.A.