

ANALISA KEKUATAN PERCABANGAN PIPA T *JOINT* $D_h/D_b = 1$ TANPA PLAT PENGUAT DENGAN VARIASI SUDUT AKIBAT BEBAN MOMEN YANG BEKERJA DENGAN MENGGUNAKAN METODE ELEMEN HINGGA

Azzaky Alghifari.¹, Hartono Yudo¹, Wilman Amirudin.¹

¹S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: azzaki.alghi.fari@gmail.com

Abstrak

Pipa T *Joint* merupakan komponen berbentuk sambungan, dipakai untuk menggabungkan beberapa jalur pipa kearah satu pipa atau sebaliknya dari satu pipa ke beberapa pipa pembagi. Kekuatan struktur pada pipa T *joint* sangat penting dalam industri. Salah satu kegagalan struktur yang sering terjadi pada pipa T *joint* adalah *buckling* atau tekuk. Penyebab terjadinya *buckling* bisa bermacam-macam, salah satunya adalah kondisi pembebanan. Pada penelitian ini sudut dari pipa T *joint* di variasikan menjadi 90°, 60°, 45° dengan menggunakan momen *bending* pada kondisi yang berbeda-beda. *Buckling* dianalisa menggunakan metode elemen hingga dengan mempertimbangkan sifat material pada pipa, yaitu elastis dan elasto-plastis, serta deformasi yang terjadi pada setiap sudut percabangan pipa. Untuk analisa elasto-plastis, momen *buckling* berkisar 1.94×10^6 Nm. Semakin kecil sudut percabangan suatu pipa maka semakin kecil pula deformasi yang terjadi pada pipa tersebut. Tetapi, dengan semakin besar nilai deformasi, momen *buckling* yang terjadi semakin kecil dan yang akhirnya akan konstan.

Kata Kunci: Pipa T *Joint*, *Buckling*, *Bending*, Deformasi, Metode Elemen Hingga, Elasto-plastis

T Joint pipe is connection components, used to combine several pipelines towards the pipe or otherwise from one pipe to some pipes divider. The strength of the pipe T joint structure is very important in the industry. One of the structural failures that often occur in the pipe T joint is buckling. The cause of the occurrence of buckling can vary, one of which is the loading condition. In this study, the angle of the pipe T joint in varying become 90 °, 60 °, 45 ° using the bending moment on variety conditions. Buckling analyzed using finite element method with consideration of material properties on the pipe, which is elastic and elasto-plastic, as well as the deformation that occurs in every corner of branching pipes. For Elasto-plastic analysis, buckling moments ranging from 1.94×10^6 Nm. The smaller the angle of branching of a pipe then the smaller the deformation that occurs in the pipeline. However, with the greater value of deformation, buckling moment will increasingly smaller and eventually will be constant.

Keyword: Pipe T *joint*., *Buckling*, *Bending*, Deformation, Finite Element Method, Elasto-plastic

1. PENDAHULUAN

Sistem Pipa adalah sebuah saluran tertutup yang digunakan sebagai sarana pengaliran atau transportasi fluida,. Dalam dunia industri, pipa biasanya digunakan untuk mengalirkan suatu fluida, baik fluida yang berbentuk cair maupun yang berbentuk gas. Bentuk kontruksi pipa yang terdapat di suatu perusahaan industri dipengaruhi oleh jenis fluida yang akan dialirkan melalui pipa dengan berbagai pertimbangan terhadap pengaruh lingkungan yang ada. Sistem perpipaan tidak lepas kaitannya dengan sambungan dan percabangan dari pipa tersebut

Percabangan pipa banyak ditemui dalam sistem perpipaan yang di gunakan oleh industri-

industri. Dalam kenyataannya tegangan maksimum yang terjadi pada daerah percabangan sudut 90°, 60° & 45° berbeda-beda tingkat bebannya, hal ini di sebabkan oleh adanya perbedaan beban konsentrasi tumpuan sambungan. Beban yang dialami sitem perpipaan dapat berupa beban momen, tekanan internal, *temperature*, akibat dari hal ini sambungan dari pipa dapat mengalami tekukan atau yang sering disebut *Buckling*.

Pipa aliran minyak, pipa saluran air, pipa gas adalah contoh pipa yang banyak ditemui percabangan dengan variasu sudut 90°, 60° & 45°, adapun struktur bangunan pada industri yang menggunakan pipa adalah RIG

Construction, hampir keseluruhan struktur pada bangunan ini dibuat dengan dengan instalasi pipa, banyak di temukan percabangan dengan variasi sudut 90°, 60° & 45° yang dikenai oleh beban momen

Berdasarkan hal tersebut, penulis mencoba menganalisa *buckling* pada pipa t joint dengan variasi sudut 90°, 60° & 45°. Pipa akan dimodelkan menggunakan MSC Patran dan untuk analisa akan dibantu oleh MSC Marc (Mentat).

2. TINJAUAN PUSTAKA

Analisa kekuatan sebuah struktur telah menjadi bagian penting dalam alur kerja pengembangan desain dan produk. Pada awalnya analisa kekuatan dilakukan dengan menggunakan rumusan-rumusan teoritis yang telah banyak tercantum pada buku-buku panduan mekanika struktur dan teknik. Tetapi hal tersebut memiliki banyak kekurangan, salah satunya adalah harusnya dilakukan penyederhanaan-penyederhanaan serta pengidealisan kondisi-kondisi yang akan dianalisa agar dapat dimasukkan ke dalam rumusan teoritis tersebut. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya akurasi dan ketepatan hasil analisa yang dihasilkan serta akan sangat sulit diaplikasikan pada bentuk struktur yang kompleks.

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. [1]

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. [2]

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. [3]

Nilai maksimum bending stress pada silinder akibat beban tekuk kritis dapat didapatkan dengan rumus: [5]

$$\sigma_{cr} = \frac{M_{cr}}{\pi r^2 t}$$
$$M_{cr} = 0.605\pi E r t^2$$

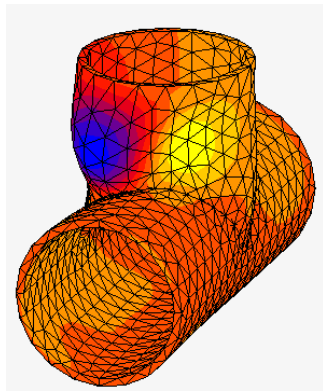
Nilai maksimum menurut Yudo dan Yoshikawa [5] pada pipa lurus akibat beban tekuk kritis adalah:

$$M_{max} = 0.52M_{cr} = 0.314\pi E r t^2$$

Pada perangkat lunak MSC Marc (Mentat), analisa buckling dibuat berdasarkan teori-teori yang telah disebutkan di atas. 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,

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

Oleh karena itu pada analisa dengan menggunakan perangkat lunak MSC Marc (Mentat) 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*.



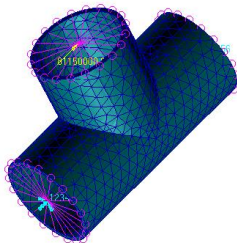
Gambar 1. Contoh *Buckling*

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data Model

a. *Pipe:*

- α_1 = 45°
- α_2 = 60°
- α_3 = 90°
- α_4 = 120°
- α_5 = 135°
- t = 28.3 mm
- \varnothing = 508 mm



Gambar 2. Pipa sudut 90° Dimodelkan dengan MSC Patran

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Pembebanan

Beban diberikan di tiap titik tengah ujung pipa bagian atas pada setiap variasi model.

1. Pembebanan Kritis

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= 0.605\pi E r t^2 & [5] \\
 &= 0.605 \times 3.14 \times 2.1 \times 10^{11} \times 0.254 \times (0.0283)^2 \\
 &= 8.115 \times 10^7 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

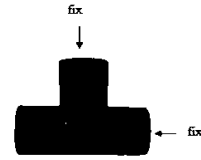
4.2 Penentuan Kondisi Batas

Tabel 1. Kondisi Batas

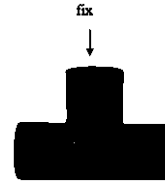
Kondisi 1



Kondisi 2



Kondisi 3



Sumbu X, Sumbu Y, Sumbu Z menjadi titik independent pada cabang, diberi keterangan fix

4.3 Validasi Model

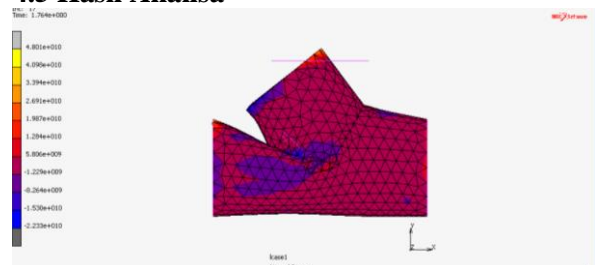
Untuk dapat dikatakan mendekati benar, maka persentase validitasnya harus dibawah 5% agar nilai tersebut dapat dikatakan valid. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil pada perhitungan manual dengan hasil perhitungan *software*.

Tabel 1. Perhitungan Validasi Manual

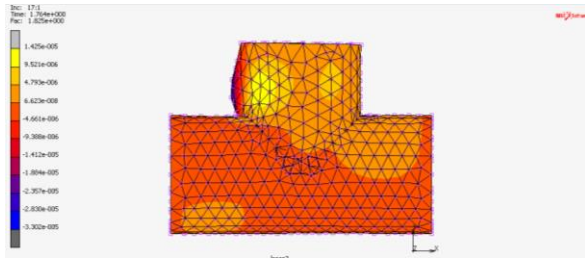
$$\begin{aligned}
 I &= \pi \times r^3 \times t \\
 &= \pi \times 0.254^3 \times 0.0283 \\
 &= 1.456 \times 10^{-3} \text{ m}^4 \\
 \theta(0) &= \left| -\frac{PL^2}{2EI} \right| \\
 &= \left| -\frac{8.115 \times 10^7 \times 0.559^2}{2 \times 2.1 \times 10^{11} \times 0.001456} \right| \\
 &= 3.93 \times 10^{-2} \text{ m}
 \end{aligned}$$

Validasi			
Sudut 90°	Perhitungan	$3.93 \times 10^{-2} \text{ m}$	97,21%
	Software	$3.83 \times 10^{-2} \text{ m}$	
Sudut 60°	Perhitungan	$3.93 \times 10^{-2} \text{ m}$	98,23%
	Software	$3.87 \times 10^{-2} \text{ m}$	
Sudut 45°	Perhitungan	$3.93 \times 10^{-2} \text{ m}$	96,19%
	Software	$3.79 \times 10^{-2} \text{ m}$	

4.5 Hasil Analisa



Gambar 3. Deformasi pada Pipa

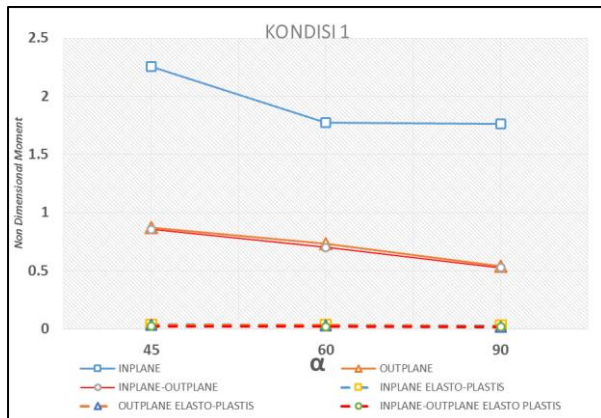


Gambar 4. *Buckling* pada Pipa

4.6 Perbandingan nilai Kekuatan *Bending* (M/Mcr) terhadap Variasi sudut.

Table. 2 Tabel perbandingan nilai (M/Mcr) terhadap sudut pada kondisi 1.

KONDISI 1 (ELASTIS)			
MOMEN	SUDUT 45	SUDUT 60	SUDUT 90
INPLANE	2.256	1.775	1.764
OUTPLANE	0.87	0.7313	0.54
INPLANE-OUTPLANE	0.8555	0.701	0.5252
KONDISI 1 (ELASTOPLASTIS)			
MOMEN	SUDUT 45	SUDUT 60	SUDUT 90
INPLANE	0.026	0.025	0.025
OUTPLANE	0.025	0.025	0.019
INPLANE-OUTPLANE	0.023	0.021	0.018



Gambar.5 Grafik hubungan *Non Dimensional Moment* (M/Mcr) dengan Variasi sudut α pada kondisi 1

Gambar 3 menunjukkan hubungan antara *Non Dimensional Moment* (M/Mcr) yang terjadi dengan variasi sudut α pada kondisi 1, dimana beban diberikan pada pipa cabang. Semakin besar nilai M/Mcr yang diberi maka semakin besar kekuatan pipa tersebut untuk menahan beban *bending*.

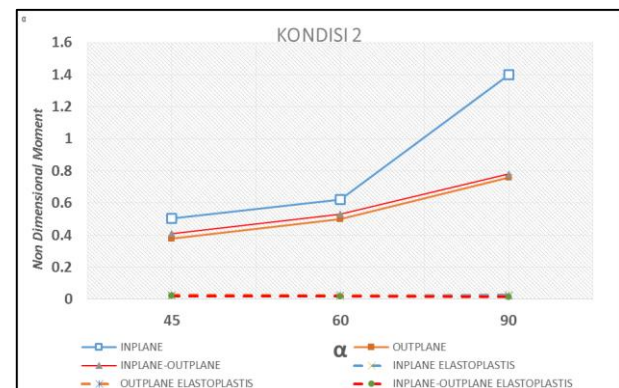
Untuk pipa yang bersifat elastis, dapat dilihat adanya variasi respon terhadap M/Mcr yang di berikan, hal ini menunjukkan pola menurun setiap momen yang diberikan ke setiap sudut α . Seperti pada sudut 45° momen inplane dan 90° menunjukan nilai M/Mcr yang menurun.

Hal ini memperlihatkan bahwa pipa dengan sudut paling kecil mempunyai nilai ketahanan terhadap beban *bending* yang besar seperti pada sudut 45°.

Untuk pipa dengan sifat elasto-plastis, nilai M/Mcr hampir konstan untuk masing-masing pipa. Hal ini disebabkan oleh nilai maksimum momen *bending* yang digunakan dibatasi oleh *yield stress*.

Table. 3 Tabel perbandingan nilai (M/Mcr) terhadap sudut pada kondisi 2.

KONDISI 2 (ELASTIS)			
MOMEN	SUDUT 45	SUDUT 60	SUDUT 90
INPLANE	0.505	0.62	1.4
OUTPLANE	0.378	0.4992	0.761
INPLANE-OUTPLANE	0.4105	0.5305	0.7795
KONDISI 2 (ELASTOPLASTIS)			
MOMEN	SUDUT 45	SUDUT 60	SUDUT 90
INPLANE	0.02	0.019	0.028
OUTPLANE	0.026	0.024	0.021
INPLANE-OUTPLANE	0.021	0.018	0.015



Gambar 6. Grafik hubungan *Non Dimensional Moment* (M/Mcr) dengan Variasi sudut α pada kondisi 2

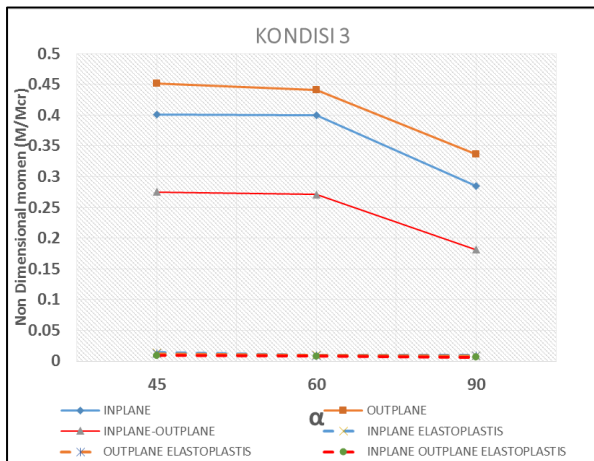
Gambar 3 menunjukkan hubungan antara *Non Dimensional Moment* (M/Mcr) yang terjadi dengan variasi sudut α pada kondisi 2, dimana beban diberikan pada pipa salah satu ujung pipa utama. Semakin besar nilai M/Mcr yang diberi maka semakin besar kekuatan pipa tersebut untuk menahan beban *bending*.

Untuk pipa yang bersifat elastis, Dari sudut 45° sampai sudut 90° terlihat pola peningkatan nilai M/Mcr. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar α maka semakin besar pula ketahanan terhadap beban *bending*.

Untuk pipa dengan sifat elasto-plastis, nilai M/Mcr hampir konstan untuk masing-masing pipa. Hal ini disebabkan oleh nilai maksimum momen *bending* yang digunakan dibatasi oleh *yield stress*.

Table 4. Tabel perbandingan nilai (M/M_{cr}) terhadap sudut pada kondisi 3

KONDISI 3 (ELASTIS)			
MOMEN	SUDUT 45	SUDUT 60	SUDUT 90
INPLANE	0.401	0.4	0.285
OUTPLANE	0.451	0.441	0.336
INPLANE-OUTPLANE	0.275	0.271	0.181
KONDISI 3 (ELASTOPLASTIS)			
MOMEN	SUDUT 45	SUDUT 60	SUDUT 90
INPLANE	0.014	0.01	0.0095
OUTPLANE	0.012	0.0094	0.0087
INPLANE-OUTPLANE	0.009	0.0079	0.0061



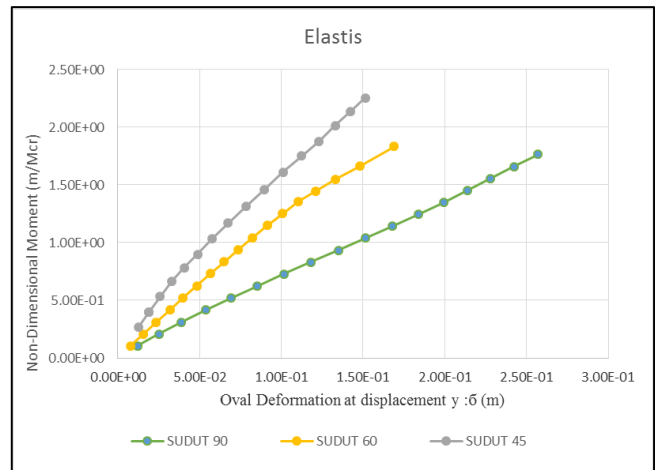
Gambar 7. Grafik hubungan *Non Dimensional Moment* (M/M_{cr}) dengan Variasi sudut α pada kondisi 3

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara *Non Dimensional Moment* (M/M_{cr}) yang terjadi dengan variasi sudut α pada kondisi 3, dimana beban diberikan pada kedua ujung pipa utama. Semakin besar nilai M/M_{cr} yang diberi maka semakin besar kekuatan pipa tersebut untuk menahan beban *bending*.

Untuk pipa yang bersifat elastis, dapat dilihat adanya variasi respon terhadap M/M_{cr} yang di berikan, namun variasi ini menunjukkan pola yang sama pada setiap momen yang diberikan ke setiap sudut α . Seperti pada sudut 45° ke 90° *inplane* penurunan ketahanan terhadap beban *bending*. Hal ini menunjukkan semakin besar sudut, semakin kecil ketahanan terhadap beban *bending*.

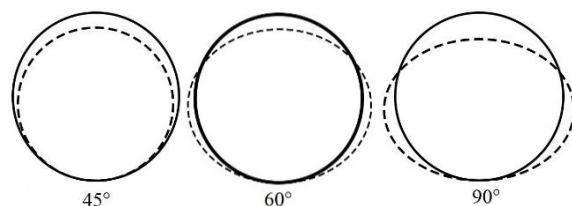
Untuk pipa dengan sifat elasto-plastis, nilai M/M_{cr} hampir konstan untuk masing-masing pipa. Hal ini disebabkan oleh nilai maksimum momen *bending* yang digunakan dibatasi oleh *yield stress*.

4.7 Perbandingan pengaruh nilai M/M_{cr} terhadap deformasi pada sifat Elastis dan Elasto-Plastis

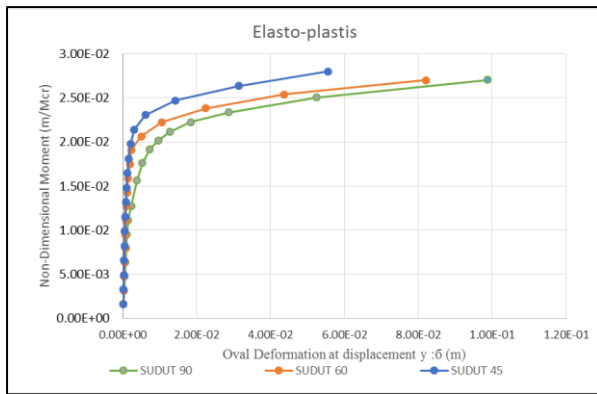


Gambar 8. Deformasi pipa kondisi 1 *inplane* (Elastis)

Gambar 8, Grafik pada Gambar 4.20. menunjukkan hubungan antara beban *bending* kritis yang diaplikasikan pada tiap sudut α di kondisi 1 *Inplane*, dengan deformasi pada tiap sudut α yang bersifat elastis. dari grafik diatas dapat diketahui bahwa semakin besar nilai M/M_{cr} maka semakin kecil deformasinya, namun semakin besar sudut α pada pipa, maka semakin besar juga tingkat deformasi yang dialami. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 9. Perbedaan oval deformasi pada pipa.

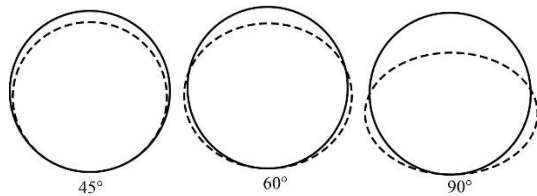


Gambar 9. Oval Deformasi Pipa sebelum *buckling* pada kondisi 1 *Inplane* (Elastis)



Gambar 10. Deformasi pada Tengah Pipa (Elasto-Plastis)

Gambar 10. Menerangkan bahwa pipa dianalisa dalam kondisi elasto-plastis dengan menambahkan nilai *yield stress* sebesar 250 Mpa. Dari grafik tampak bahwa beban *bending* hampir sama, namun tetap adanya perubahan deformasi. Hal ini disebabkan karena momen *buckling* dibatasi oleh besarnya *yield stress*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 11. Perbedaan oval deformasi pada pipa



Gambar 11. Deformasi pada pipa sebelum *buckling* kondisi 1 inplane (Elasto-Plastis)

Menurut SUPERB [4] momen *buckling* dalam kondisi plastis dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$M_p = \left(1.05 - 0.003 \cdot \frac{r}{t} \right) \sigma_y \cdot D^2 \cdot t$$

$$= 1.94 \times 10^6$$

Tabel 5. Momen *Buckling* tiap kondisi Momen *buckling* elastis

Sudut momen Inplan	Mb/Mcr	Mcr	Mb
SUDUT 45	2.256	8.12E+07	1.83E+08
SUDUT 60	1.775	8.12E+07	1.44E+08
SUDUT 90	1.764	8.12E+07	1.43E+08

Momen *buckling* elastoplastis

Sudut momen Inplan	Mb/Mcr	Mcr	Mb
SUDUT 45	0.026	8.12E+07	2.11E+06
SUDUT 60	0.025	8.12E+07	2.03E+06
SUDUT 90	0.025	8.12E+07	2.03E+06

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dengan bertambah besarnya sudut percabangan suatu pipa maka momen *buckling* yang terjadi juga semakin besar, hal ini dikarenakan kecilnya nilai M/Mcr seiring bertambah besarnya sudut.
2. Deformasi yang terjadi pada pertambahan sudut pipa bergantung dari nilai M/Mcr, semakin kecil nilai M/Mcr maka semakin besar deformasi yang terjadi pada pipa tersebut.
3. Untuk analisa elasto-plastis, nilai momen *buckling* yang terjadi lebih kecil dari pipa yang bersifat elastis. Hal ini disebabkan oleh momen yang terjadi pada pipa dibatasi oleh *yield stress*. Nilai momen *buckling* untuk berkisar 1.94×10^6 Nm dengan *error* sebesar 4.2%.

5.2 SARAN

1. Perlu pendalaman untuk analisa *buckling* dengan menambahkan berbagai jenis sifat material.
2. Variasi model yang digunakan untuk analisa *buckling* tidak hanya terbatas pada variasi 3 sudut.
3. Pipa yang sudah diteliti dapat dihubungkan dengan regulasi penempatan sistem perpipaan pada bangunan lepas pantai atau sistem perpipaan pada kapal

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Muameleci, Mert. 2014. *Linear and Nonlinear Buckling Analyses of Plates using the Finite Element Method*. Thesis. Linköping: Department Management and Engineering, Linköping University.
- [2] Ross, C.T.F. 1985. *Finite Element Methods in Structural Mechanics*. Chichester: Ellis Horwood Ltd.
- [3] Soraya, Tanellia. 2016. Analisa *Buckling* Pipa *Crane* akibat Beban Lentur menggunakan Software berbasis Metode Elemen
- [4] SUPERB. 1996. *Buckling and Collapse Limit State*.
- [5] Yudo, Hartono., Takao Yoshikawa. 2014. "Buck straight and curved pipe under pure bending". *Journal of Marine and Science Technology*. 95.