

ANALISIS TEKUK KRITIS PADA PIPA AKIBAT TEKANAN INTERNAL

Andreas Geraldine A.¹, Hartono Yudo.¹, Wilma Amirrudin.¹
¹S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Email: andreasg2011@gmail.com

Abstrak

Pipa merupakan suatu struktur yang digunakan untuk pendistribusian fluida di dalam memenuhi kebutuhan manusia dan industri. Kekuatan struktur pada pipa perlu di perhatikan dalam suatu industri. Tekanan internal yang terjadi pada pipa dapat menyebabkan kegagalan struktur yaitu berupabuckling atau tekuk. Penyebab terjadinya buckling bisa bermacam-macam, salah satunya adalah kondisi pembebanan. Pada penelitian ini, model pipa divariasikan menjadi duabelas macam berdasarkan panjang, diameter dan ketebalan. Buckling dianalisa menggunakan metode elemen hingga dengan mempertimbangkan sifat material pada pipa, yaitu elastis dan elasto-plastis, serta deformasi yang terjadi pada setiap pipa. Untuk analisa elasto-plastis, Pressure buckling berkisar 1.7×10^7 Nm dikarenakan material bersifat elastis karena yield stress dari material tersebut. Semakin panjang pipa yang dimana perbandingan L/D semakin besar maka besarnya pressure buckling semakin besar tetapi efek tekanan internal yang berkerja semakin kecil sehingga membuat konstan.

Kata Kunci: Pipa, Buckling, Tekanan Internal, Pressure buckling, Metode Elemen Hingga, Elasto-plastis

Abstract

Pipe is a structure which used for distribution fluid fulfilling human and industrial needed. The strength of structure on pipe must be observed for industrial commerce. Internal Pressure which happens in pipe can cause a failure structure or we call it buckling. The causes of buckling consists of several causes, one of them is a Load condition. In this research, Pipes are modelled in twelve variation based on variation long, diameter and thickness. Buckling analyzing use finite element method which is considering material properties in pipe i.e, Elastic Elasto-plastic and deformation in every pipes. The result of pressure buckling in analyze elasto – plastic is about 1.7×10^7 Nm. It is caused by yield stress of material properties. If the variation of L/D pipe is bigger then the value of pressure buckling become bigger too but the effect of internal pressure which works in pipe is smaller or constant.

Keywords: Pipe, Buckling, Internal Pressure, Pressure buckling, Finite element method, Elasto-plastic

1. PENDAHULUAN

Sistem Perpipaan adalah suatu sistem pendistribusian fluida melalui perantara pipa. Fenomena ini sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari, salah satu contohnya adalah pipa air pada setiap rumah kita yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan dan pada bidang industri pipa sering digunakan untuk mendistribusikan minyak bumi dan gas pada offshore maupun onshore. Sedangkan pada dunia perkapalan sistem perpipaan berfungsi untuk memenuhi kebutuhan pendistribusian Fuel Oil, Fresh Water, Ballast Water, Fluida Cooling system dan lain-lain [1].

Dalam pengoperasiannya suatu pipa dapat mengalami tekanan internal jika pada jalur pipa tersebut terdapat katup yang lupa dibuka atau

tidak bisa dibuka, Selain itu tekanan operasi dari pompa membuat kecepatan aliran fluida berjalan cepat sehingga menimbulkan tekanan internal yang tinggi pada pipa. Pada kondisi – kondisi tersebut, fluida yang di distribusikan didalam pipa dapat menyebabkan defleksi dan buckling pada pipa tersebut, besarnya gaya yang diterima oleh pipa dan pengaruh dari dalam ke bagian luar pipa adalah hasil dari tekanan internal.

Kemungkinan terjadinya buckling pada pipa akibat tekanan internal membuat penulis mencoba menganalisa buckling pada pipa dengan menggunakan variasi panjang dan lebar pipa yang akan dimodelkan menggunakan MSC Patran dan untuk analisa akan dibantu oleh MSC Marc (Mentat).

Penulis melihat permasalahan yang ada terdapat pada latar belakang, maka penulis merumuskan permasalahan tentang karakteristik pipa jika mengalami buckling akibat tekanan internal dan batas pressure yang dapat diterima suatu pipa akibat tekanan internal. Setelah mengetahui perumusan masalah maka penulis menetapkan batasan masalah yang digunakan sebagai arahan serta acuan dalam penulisan agar sesuai dengan permasalahan serta tujuan yang di harapkan. Batasan permasalahan yaitu Penelitian ini hanya untuk pipa lurus, L/D dari 5, 10, 15, Variasi D/t dari 25, 50, 100. Dengan adanya latar belakang serta permasalahannya pada penelitian ini maka maksud dan tujuan dari tugas akhir ini diharapkan dapat mengetahui kekuatan buckling pipa akibat tekanan internal dan mengetahui karakteristik buckling pipa akibat tekanan internal

2. TINJAUAN PUSTAKA

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

Berdasarkan proses pembuatannya pipa dapat di bedakan menjadi :

- a. Pipa Baja Seamless yaitu pembuatan pipa tanpa pengelasan dibentuk dengan menusuk batang besi silinder untuk menghasilkan lubang pada diameter dalam pipa.
- b. Pipa Baja Welded (pembuatan pipa dengan pengelasan) yaitu dibentuk dengan pelengkungan plat baja hingga ujung sisinya saling bertemu untuk kemudian dilakukan pengelasan.

Sedangkan dilihat dari struktur bahan baku yang digunakan secara umum kita mengenal jenis-jenis pipa sebagai berikut:

- a. Pipa Carbon Steel
- b. Pipa Carbon Moly
- c. Pipa Stainless Steel
- d. Pipa Galvanis
- e. Pipa Ferro Nikel
- f. Pipa PVC

Fluida yang mengalir di dalam pipa memiliki tekanan yang berbeda-beda oleh karena itu didalam merancang suatu pipa perlu dilakukan pertimbangan agar struktur pipa tidak mengalami kebocoran atau kerusakan.

Pipa menerima beban baik akibat berat pipa itu sendiri, berat fluida di dalamnya yaitu: *Sustained Load, operational Load, Intermitten Load* dan mengalami tekanan dari dalam pipa [1].

Tekanan internal pada pipa menyebabkan pipa tersebut dikenai beban *axial stress* dan

circumferential stress. *Circumferential stress* adalah tegangan yang ditimbulkan oleh tekanan internal yang bekerja secara tengensial dan nilainya tergantung dari tebal dinding pipa. *Axial stress* adalah tegangan yang kerja secara longitudinal atau searah sumbu pipa.

Nilai Tekanan internal yang terjadi pada pipa dapat di dapatkan dengan rumus [2]:

$$P = \frac{2SEt}{D - 2Yt}$$

Keterangan:

t = tebal dinding pipa

P = tekanan internal

D = diameter pipa

E = Faktor kualitas bahan.

S = tegangan tarik yang di izinkan.

Y = Koefisien bahan.

Tidak semua susunan struktur didalam keadaan stabil. Jika sekiranya sebuah batang baja yang ujungnya berupa lingkaran berdiameter 5 mm dan mempunyai panjang 10 mm ketidakstabilan bukan suatu masalah jika diberikan sebuah gaya tekan aksial tetapi jika sebuah batang baja yang mempunyai diameter 5 mm dan panjang 1 m dan dikenai gaya tekan aksial, batang baja ini menjadi tidak stabil ke samping dan dapat terus menekuk kesamping bahkan runtuh. Jika suatu *buckling* yang terjadi pada suatu struktur bukanlah kritikal buckling load maka buckling terendah disebut sebagai *buckling mode 1* dan nilai yang lebih tinggi disebut sebagai *buckling mode 2* dan sampai seterusnya. [3]

Buckling dapat didefinisikan sebagai sebuah fenomena kegagalan yang terjadi secara tiba tiba akibat dari tekanan atau gangguan yang terjadi pada sebuah struktur sehingga menyebabkan terjadinya perubahan bentuk struktur tersebut berupa defleksi lateral ke bentuk kesetimbangannya yang lain.

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. [4]

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.

Pada suatu struktur dengan profil kompak dan tahanan lateral yang cukup, ketika dibebani terus secara bertahap maka bagian penampang yang mengalami momen maksimum, serat terluar akan mencapai tegangan leleh atau yielding. Jika beban terus ditambahkan, besarnya tegangan tidak bertambah, tetapi bagian yang mengalami leleh merambat ke serat bagian dalam. Lama –lama tegangan di keseluruhan penampang akan mencapai leleh atau kondisi plastis [5].

Pada proses analisis pipa algoritma yang digunakan adalah algoritma Newton-Raphson dan proses iterasi menggunakan metoda Lanczos.

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 besaran nilai pressure pada pipa sehingga mengakibatkan pipa tersebut *buckling*,



Gambar 1. Contoh *Buckling*

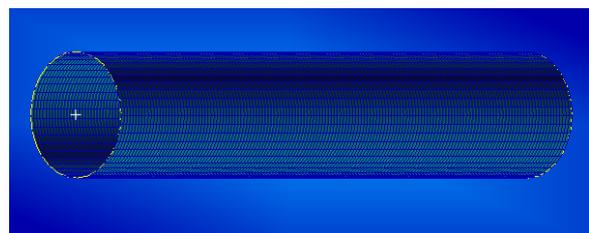
3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini penulis ingin mengetahui kekuatan *buckling* pipa dan karakteristik *buckling* pipa akibat tekanan internal. Penulis melakukan validasi model sebelum melakukan analisis pada pipa untuk melihat tingkat kesalahan atau *error* pada model. Variasi yang digunakan adalah 12 variasi bentuk pipa berdasarkan D/t dan L/D untuk menganalisis *buckling* yang terjadi. Pipa dikenai perlakuan tekanan internal. Berikut ini adalah 12 bentuk variasi model pipa :

- Pipa A D/t = 25:
 - t = 0.02 m
 - D = 0.5 m
 - L/D = 5, 10, 15, 20.
 - A₁ L= 2.5 m
 - A₂ L= 5.0 m
 - A₃ L= 7.5 m
 - A₄ L= 10 m
- *Pipe* D/t = 50:

- t = 0.02 m
- D = 1.0 m
- L/D = 5, 10, 15, 20.
 - B₁ L= 5.0 m
 - B₂ L= 10 m
 - B₃ L= 15 m
 - B₄ L= 20 m

- *Pipe* D/t = 100:
 - t = 0.02 m
 - D = 12.0 m
 - L/D = 5, 10, 15, 20.
 - C₁ L= 10 m
 - C₂ L= 20 m
 - C₃ L= 30 m
 - C₄ L= 40 m

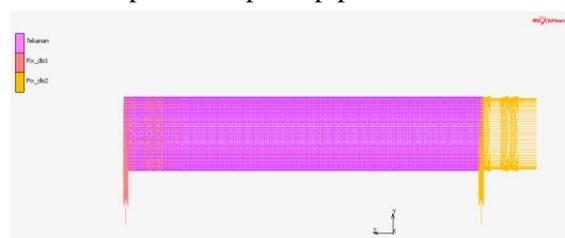


Gambar 2. Model Pipa dengan MSC Patran

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Kondisi Batas

Boundary Condition digunakan untuk menentukan bentuk tumpuan dari objek yang dianalisis. Penentuan *Boundary Condition* diberikan pada setiap sisi pipa



Gambar 4 Kondisi batas pada pipa

Untuk *input load* menggunakan *Pressure* yang kemudian dimasukkan pada keseluruhan bagian pipa. Perhitungan pembebanan tekanan internal pada pipa menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P = \frac{2SEt}{D - 2Yt}$$

Keterangan :

P = Tekanan internal

S = Tegangan Tarik yang diizinkan

t = Tebal dinding pipa

D = Diameter pipa

Y = Koefisien

- Diameter 0,5 m

$$P = \frac{2 \times 103.42 \times 10^6 \times 0.02}{0.5 - 2(0.4 \times 0.02)}$$

$$P = \frac{2 \times 103.42 \times 10^6 \times 0.02}{0.484}$$

$$= 8.547 \times 10^6 \text{ Pa}$$

- Diameter 1 m

$$P = \frac{2 \times 103.42 \times 10^6 \times 0.02}{1 - 2(0.4 \times 0.02)}$$

$$P = \frac{2 \times 103.42 \times 10^6 \times 0.02}{0.984}$$

$$= 4.204 \times 10^6 \text{ Pa}$$

- Diameter 2 m

$$P = \frac{2 \times 103.42 \times 10^6 \times 0.02}{2 - 2(0.4 \times 0.02)}$$

$$P = \frac{2 \times 103.42 \times 10^6 \times 0.02}{1.998}$$

$$= 2.07 \times 10^6 \text{ Pa}$$

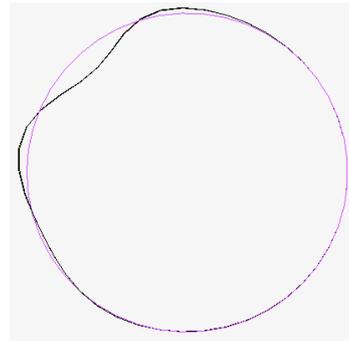
4. 2 Validasi Model

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*.

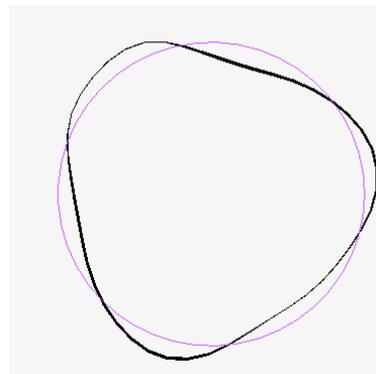
Tabel 1. Perhitungan Validasi

Perhitungan	3.79E-07	9.92E+01
Software	3.76E-07	

4. 3 Hasil Analisis



Gambar5. *Buckling* elastis



Gambar 6. *Buckling* Elasto-plastis

- Pipa A₁

Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar $18.8 \times 10^6 \text{ Pa}$

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar $1.71 \times 10^6 \text{ Pa}$.

- Pipa A₂

Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar $15.81 \times 10^6 \text{ Pa}$

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar $1.67 \times 10^6 \text{ Pa}$.

- Pipa A₃

Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar $15.38 \times 10^6 \text{ Pa}$

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar $1.67 \times 10^6 \text{ Pa}$.

- Pipa A₄

Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar $15.38 \times 10^6 \text{ Pa}$

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar $1.65 \times 10^6 \text{ Pa}$.

- Pipa B₁
Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 9.66×10^6 Pa

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 8.41×10^5 Pa.

- Pipa B₂
Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 8.19×10^6 Pa

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 8.20×10^5 Pa.

- Pipa B₃
Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 7.86×10^6 Pa

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 8.24×10^5 Pa.

- Pipa B₄
Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 7.65×10^6 Pa

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 8.24×10^5 Pa.

- Pipa C₁
Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 4.86×10^6 Pa

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 4.14×10^5 Pa.

- Pipa C₂
Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 4.09×10^6 Pa

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 4.14×10^5 Pa.

- Pipa C₃
Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 3.97×10^6 Pa

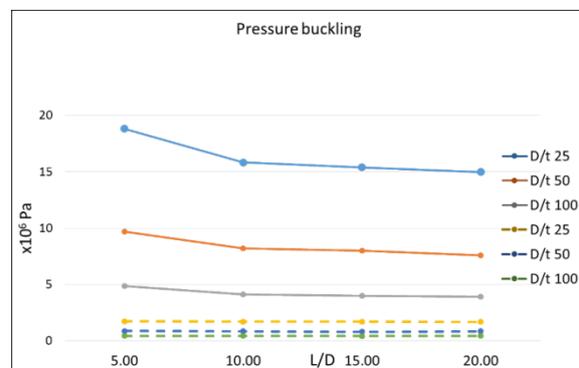
Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 4.06×10^5 Pa.

- Pipa C₄
Untuk analisa elastik didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 78×10^6 Pa

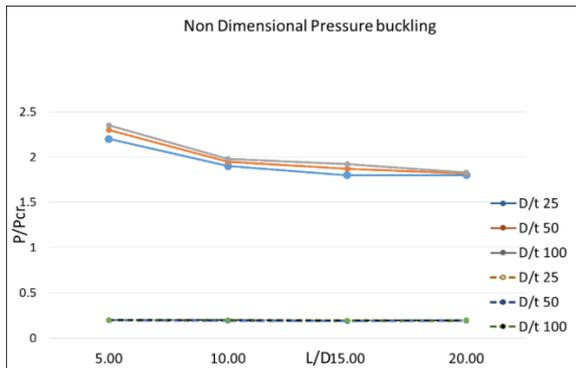
Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai *pressure buckling* sebesar 4.07×10^5 Pa.

Tabel 2 Tabel hasil analisis pressure

Pipa	Elastis (Pa)	Elasto-Plastis (Pa)
Pipa A ₁	18.8×10^6	1.71×10^6
Pipa A ₂	15.81×10^6	1.67×10^6
Pipa A ₃	15.38×10^6	1.67×10^6
Pipa A ₄	15.38×10^6	1.65×10^6
Pipa B ₁	9.66×10^6	8.41×10^5
Pipa B ₂	8.19×10^6	8.20×10^5
Pipa B ₃	7.86×10^6	7.99×10^5
Pipa B ₄	7.65×10^6	8.24×10^5
Pipa C ₁	4.86×10^6	4.14×10^5
Pipa C ₂	4.09×10^6	4.14×10^5
Pipa C ₃	3.97×10^6	4.06×10^5
Pipa C ₄	3.78×10^6	4.07×10^5



Gambar 7 Grafik *Pressure buckling* pada pipa



Gambar 8 Grafik Non dimensional *Pressure buckling* pada pipa

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Pertambahan panjang pipa dan diameter pipa dengan ketebalan yang tetap menyebabkan nilai *pressure buckling* yang terjadi semakin kecil karena efek kondisi batas pada ujung akan menghilang pada pipa panjang
2. Untuk analisis elasto-plastis, nilai *pressure buckling* yang terjadi lebih kecil dari pipa yang bersifat elastis. Hal ini disebabkan oleh dibatasi *yield stress* yang membatasi kekuatan *buckling*-nya. Nilai tegangan yang terjadi berkisar 1.7×10^8 Pa hampir sama dengan nilai *yield stress* 1.72×10^8 Pa.
3. Nilai *Critical Pressure buckling* untuk pipa lurus berdasarkan variasi L/D dan D/t dapat dicari dengan $P_{critical} = 1.8 \times P_{design}$.

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 L/D dan D/t
3. Pipa yang sudah diteliti dapat dihubungkan dengan regulasi perancangan pipa sebagai acuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Anonim. Pipa. 18 Juli 2015. [https://en.wikipedia.org/wiki/Pipa_\(saluran\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Pipa_(saluran))
- [2] Darmawan H., 2000. 'Perancangan Sistem Perpipaan Industri ASME CODE B31.3', Laboratorium Perancangan Mesin, ITB:Bandung.
- [3] Dewobroto, W, 2013. "Rekayasa Komputer dalam Analisis dan Desain Struktur Baja", Lumina Press, Jakarta.
- [4] Kiryanto, dkk. 2010. *Buku Ajar Sistem Dalam Kapal*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro : Semarang.
- [5] Popov E., 2008. "Mekanika Teknik Jilid 2", Erlangga: Jakarta.
- [6] Siswanto, Tri Adi., Hari Prastowo, Beni Cahyono, 2014. "Analisa Pengaruh *Water Hammer* Terhadap Nilai *Stress* Pipa Pada Sistem *Loading-Offloading* PT.DABN", Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, ITS:Surabaya.
- [7] Yudo, Hartono., Takao Yoshikawa. 2014. "Buckling phenomenon for straight and curved pipe under pure bending". *Journal of Marine and Science Technology*. 95.