

ANALISA *BUCKLING* TIANG *MAST CRANE* AKIBAT BEBAN LENTUR MENGGUNAKAN *SOFTWARE* BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

Tanellia Soraya N.¹, Hartono Yudo¹, Berlian Arswendo A.¹
¹S1 Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Email: tanellia@live.com

Abstrak

Crane merupakan mesin bantu yang digunakan untuk mengangkat dan memindahkan barang-barang berat yang tidak mampu diangkat dan dipindahkan oleh manusia. Kekuatan struktur pada tiang *crane* sangat penting dalam suatu industri. Dan salah satu kegagalan struktur yang sering terjadi pada tiang adalah *buckling* atau tekuk. Dan sudah diketahui bahwa momen *buckling* yang terjadi dapat dikurangi dengan menambahkan tinggi pada tiang. Penyebab terjadinya *buckling* bisa bermacam-macam, salah satunya adalah kondisi pembebanan. Pada penelitian ini, tinggi tiang divariasikan menjadi 4 macam dengan menggunakan momen *bending*. *Buckling* dianalisa menggunakan metode elemen hingga dengan mempertimbangkan sifat material pada tiang, yaitu elastis dan elasto-plastis, serta deformasi yang terjadi pada setiap tiang. Untuk analisa elasto-plastis, momen *buckling* berkisar 8.3×10^7 Nm. Semakin tinggi tiang yang di mana semakin besar nilai L/D , maka semakin besar terjadinya deformasi. Tetapi, dengan semakin besar nilai deformasi, momen *buckling* yang terjadi semakin kecil dan yang akhirnya akan konstan. Sama halnya dengan *safety factor*, semakin tinggi tiang nilai SF akan berkurang dan akhirnya konstan. Pada penelitian ini didapatkan nilai SF sebesar 9.89.

Kata Kunci: Tiang *Crane*, *Buckling*, *Bending*, Deformasi, Metode Elemen Hingga, Elasto-plastis

Crane is an auxiliary engine which is used to lift and move heavy items which are not capable to lifted and moved by human. The strength of the mast crane structure is very important in an industry. And one of the structural failures that often occur at the mast is buckling. And it is known that the buckling moment can be reduced by increasing the height of mast. The cause of buckling can be various, which one is the loading condition. In this study, the height of mast is varied into 4 types by using the bending moment. Buckling will be analyzed using the finite element method, considering the material of mast which are elastic and elasto-plastic, and as well the deformation that occurs on any type of mast. For elasto-plastic analysis, buckling moment which happened about 8.68×10^7 Nm with error value of 4%. The greater value of deformation, the value of buckling moment is decreasing. Same thing with safety factor, the higher the mast, the smaller safety factor become. In this research value of safety factor is 9.89.

Keyword: *Crane Mast*, *Buckling*, *Bending*, *Deformation*, *Finite Element Method*, *Elasto-plastic*

PENDAHULUAN

Ada dua kategori utama yang mengarah ke kegagalan tiba-tiba pada komponen mekanik: kegagalan material dan ketidakstabilan struktural, yang sering disebut *buckling* atau tekuk.

Buckling yang terjadi pada struktur sangat sensitif terhadap ketidaksempurnaan; ketidaksempurnaan ini bisa didapat dari berbagai jenis, misalnya, variasi ketebalan, perforasi, atau tegangan sisa. Kondisi pembebanan juga merupakan parameter penting yang mempengaruhi perilaku *buckling* dari suatu struktur.

Pada suatu industri, kebutuhan untuk memindahkan suatu benda dari suatu tempat ke tempat lain, jauh maupun dekat, biasanya berat sehingga tidak dapat ditangani oleh pekerja melainkan dibutuhkan bantuan alat agar lebih memudahkan pekerjaan. *Crane* telah banyak digunakan untuk mengangkat maupun memindahkan mesin, alat, container dan benda berat lainnya. Ada banyak macam jenis *crane* sesuai dengan kebutuhan industri seperti *pedestal crane*, *tower crane*, *overload crane*, *mobile crane* dan *gantry crane*.

Berdasarkan hal tersebut, penulis mencoba menganalisa *buckling* pada tiang *mast* pada *crane* dengan menggunakan variasi pada tinggi tiang. Tiang akan dimodelkan menggunakan MSC Patran dan untuk analisa akan dibantu oleh MSC Marc (Mentat).

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 pengidealisasian 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: [4]

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

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

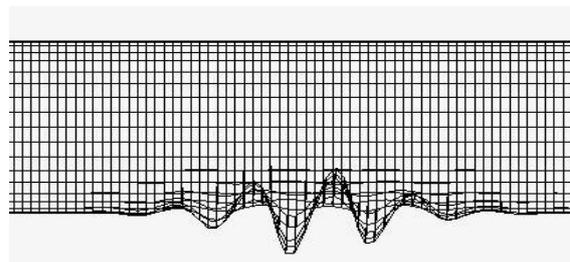
Nilai maksimum menurut Yudo dan Yoshikawa [4] pada pipa lurus akibat beban tekuk kritis adalah:

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

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*.

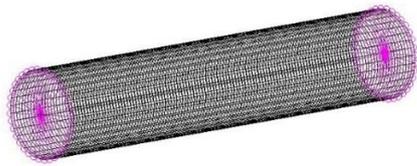


Gambar 1. Contoh *Buckling*

METODOLOGI PENELITIAN

Data Model

- a. Mast:
 - h_1 = 10000 mm
 - h_2 = 15000 mm
 - h_3 = 20000 mm
 - h_4 = 25000 mm
 - ϕ = 2980 mm
 - t = 40 mm
- b. Boom = 25 m
- c. SWL = 30 ton



Gambar 2. Tiang Dimodelkan dengan MSC Patran

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Pembebanan

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

1. Pembebanan Operasional

$$\begin{aligned}
 W &= 25 \text{ ton} = 25000 \text{ kg} \\
 F &= 25000 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 \\
 &= 294000 \text{ N} \\
 L &= 30 \text{ m} \\
 M &= F \times L \\
 &= 294000 \text{ N} \times 30 \text{ m} \\
 &= 8820000 \text{ Nm} \\
 &= 8.82 \times 10^6 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

2. Pembebanan Kritis

$$\begin{aligned}
 M_{cr} &= 0.605\pi E r^2 \quad [4] \\
 &= 0.605 \times 3.14 \times 2.1 \times 10^{11} \times 1.49 \times (0.04)^2 \\
 &= 9.5 \times 10^8 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Penentuan Kondisi Batas

Tabel 1. Kondisi Batas

lokasi titik independen	translasi		
	sumbu x	sumbu y	sumbu z
titik independen pada ujung atas	-	-	-
titik independen pada ujung bawah	fix	fix	fix
rotasi			
titik independen pada ujung atas	-	-	-
titik independen pada ujung bawah	fix	fix	fix

Validasi Model

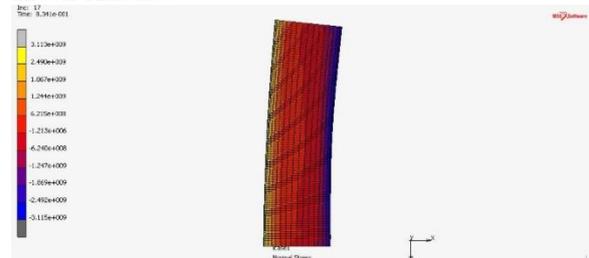
Untuk dapat dikatakan mendekati benar, maka persentase validitasnya harus dibawah 5% agar nilai tersebut dapat dikatakan valid. Validasi dilakukan dengan membandingkan

hasil pada perhitungan manual [5] dengan hasil perhitungan *software*.

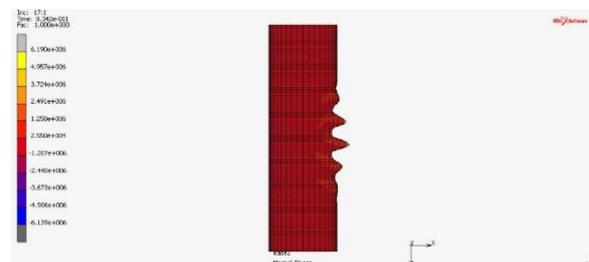
Tabel 2. Perhitungan Validasi

Tiang	Perhitungan	5.00E-03	98.62
		Software	
Tiang II	Perhitungan	1.13E-02	98.68
		Software	
Tiang III	Perhitungan	2.00E-02	98.52
		Software	
Tiang IV	Perhitungan	3.13E-02	98.58
		Software	

Hasil Analisa



Gambar 3. Deformasi pada Tiang



Gambar 4. Buckling pada Tiang

• Tiang I

Untuk analisa elastik didapatkan nilai deformasi maksimum sebesar 47.06 cm dengan momen *buckling* sebesar $7.92 \times 10^8 \text{ Nm}$.

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai deformasi sebesar 19.52 cm dengan momen *buckling* sebesar $8.72 \times 10^7 \text{ Nm}$.

• Tiang II

Untuk analisa elastik didapatkan nilai deformasi maksimum sebesar 89.10 cm dengan momen *buckling* sebesar 6.48×10^8 Nm.

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai deformasi sebesar 38.35 cm dengan momen *buckling* sebesar 8.70×10^7 Nm.

• Tiang III

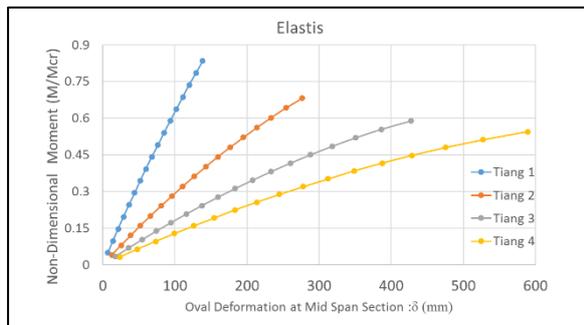
Untuk analisa elastik didapatkan nilai deformasi maksimum sebesar 141.30 cm dengan momen *buckling* sebesar 5.59×10^8 Nm.

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai deformasi sebesar 60.81 cm dengan momen *buckling* sebesar 8.68×10^7 Nm.

• Tiang IV

Untuk analisa elastik didapatkan nilai deformasi maksimum sebesar 210.10 cm dengan momen *buckling* sebesar 5.17×10^8 Nm.

Untuk analisa elasto-plastis didapatkan nilai deformasi sebesar 95.48 cm dengan momen *buckling* sebesar 8.68×10^7 Nm.



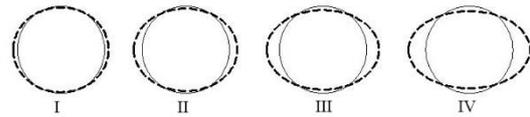
Gambar 5. Deformasi pada Tengah Tiang (Elastis)

Tabel 3. Momen *Buckling* (Elastis)

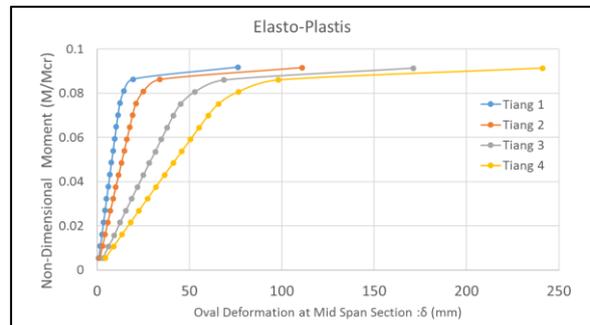
Tiang	Mb/Mcr (Elastis)	Mcr	Mb
I	0.8341	9.50E+08	7.92E+08
II	0.6822	9.50E+08	6.48E+08
III	0.5889	9.50E+08	5.59E+08
IV	0.5441	9.50E+08	5.17E+08

Pada tiang yang memiliki tinggi tiang yang rendah atau nilai L/D yang kecil seperti tiang 1 dan tiang 2 mengalami nilai deformasi yang kecil. Sedangkan pada tiang yang memiliki nilai L/D besar seperti tiang 3 dan 4 mengalami deformasi yang cukup besar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tiang dan semakin besar nilai L/D maka semakin besar deformasi yang dialami. Hal ini dapat dilihat

pada Gambar 6. perbedaan oval deformasi pada *mid-span* untuk tiap tiang.



Gambar 6. Oval Deformasi pada Tengah Tiang (Elastis)

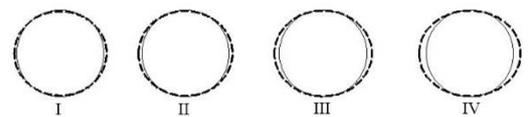


Gambar 7. Deformasi pada Tengah Tiang (Elasto-Plastis)

Tabel 4. Momen *Buckling* (Elasto-plastis)

Tiang	Mb/Mcr (Elasto-plastis)	Mcr	Mb
I	0.0918	9.50E+08	8.72E+07
II	0.0916	9.50E+08	8.70E+07
III	0.0914	9.50E+08	8.68E+07
IV	0.0914	9.50E+08	8.68E+07

Gambar 7. menerangkan bahwa tiang dianalisa dalam kondisi elasto-plastis dengan menambahkan nilai *yield stress* sebesar 250 Mpa. Dari grafik tampak bahwa momen *buckling* sama. Hal ini disebabkan karena momen *buckling* dibatasi oleh besarnya *yield stress*. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 8. perbedaan oval deformasi pada *mid-span* untuk tiap tiang.

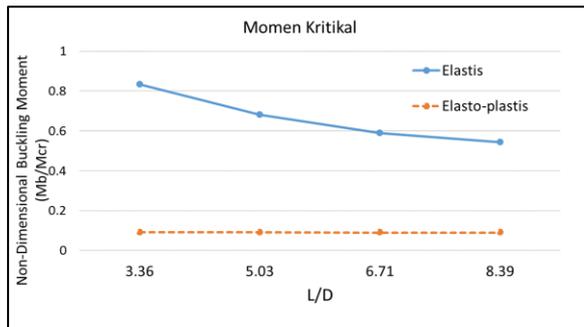


Gambar 8. Deformasi pada Tengah Tiang (Elasto-Plastis)

Menurut SUPERB [5] momen *buckling* dalam kondisi plastis dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

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

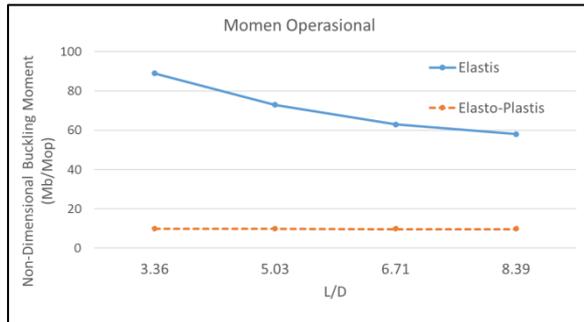
$$= 8.3 \times 10^7 \text{ Nm}$$



Gambar 9. Buckling Moment dengan L/D

Gambar 9. menunjukkan hubungan antara momen *buckling* yang terjadi dengan nilai L/D untuk masing-masing tiang. Untuk tiang sifat elastis, tiang yang lebih rendah memiliki momen *buckling* yang lebih besar daripada tiang yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh besarnya nilai deformasi yang didapatkan akan mengurangi nilai momen *buckling*. Maka, semakin besar nilai deformasi maka semakin kecil nilai momen *buckling* yang didapatkan.

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

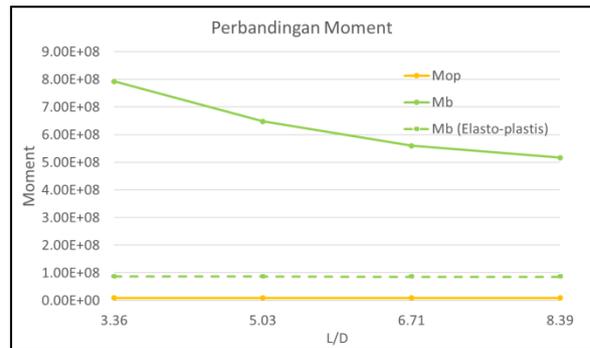


Gambar 10. Buckling Moment dengan L/D

Tabel 5. Safety Factor

Tiang	Mop	Mb	SF
I	8.82E+06	8.72E+07	9.89
II	8.82E+06	8.70E+07	9.87
III	8.82E+06	8.68E+07	9.84
IV	8.82E+06	8.68E+07	9.84

Grafik pada Gambar 10. untuk momen operasional pada *crane*. Grafik menerangkan bahwa nilai *non-dimensional buckling moment* yang terjadi lebih besar karena nilai momen operasional yang sangat kecil. Sehingga, untuk momen operasional memiliki nilai faktor keamanan yang sangat tinggi.



Gambar 11. Perbandingan Moment

Gambar 11. menunjukkan grafik perbandingan momen pada tiang. Terlihat bahwa momen operasional berada di bawah momen *buckling* yang terjadi. Sehingga, tiang pada *crane* dapat dikatakan sangat aman.

PENUTUP Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Dengan bertambahnya tinggi tiang dan besarnya L/D, momen *buckling* yang terjadi semakin kecil. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya deformasi yang terjadi seiring dengan bertambahnya tiang. Nilai momen *buckling* untuk masing-masing tiang adalah ($\times 10^8$ Nm) 7.92 ; 6.48 ; 5.59 ; 5.17.
2. Untuk analisa elasto-plastis, nilai momen *buckling* yang terjadi lebih kecil dari tiang yang bersifat elastis. Hal ini disebabkan oleh momen yang terjadi pada tiang dibatasi oleh *yield stress*. Nilai momen *buckling* untuk berkisar 8.3×10^7 Nm dengan faktor *error* sebesar 4%.
3. Faktor keamanan tiang didapatkan 9.89.

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 tinggi tiang.
3. Tiang yang sudah diteliti dapat dihubungkan dengan regulasi penempatan *crane* pada kapal.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ross, C.T.F. 1985. *Finite Element Methods in Structural Mechanics*. Chichester: Ellis Horwood Ltd.
- [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] Hibbler, Russell. 2004. *Mechanic of Material*. London: New Macmillian.
- [4] Yudo, Hartono., Takao Yoshikawa. 2014. "Buckling phenomenon for straight and curved pipe under pure bending". *Journal of Marine and Science Technology*. 95.
- [5] Popov, E.P., 1978. *Mechanics of Material, 2nd Edition*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- [6] SUPERB. 1996. *Buckling and Collapse Limit State*.