

Analisa Keandalan Struktur pada *Container Crane* SWL 40 Ton Menggunakan Metode *Monte Carlo*

Cahyo Dwi Satria ^{1*}, Adi Wirawan Husodo ², Mohamad Hakam ³

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia ^{1*}

Program Studi Teknik Perpipaian, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia ²
Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia ³

Email: cahyosatria@student.ppns.ac.id ^{1*}

Abstract – In its operation, container crane are significantly affected by usage and environmental conditions. The structure of the container crane must be able and show the best performance in overcoming the loading and environmental conditions. This study aims to determine the reliability of the container crane structure of the container crane type quay crane with SWL 40 tons. The method used is perform a static analysis by calculating the value of von mises stress and deflection due to loading condition. The loads use variation, 60% SWL, 100% SWL, and 110% SWL. To calculate the reliability of the structure, the author uses the Monte Carlo method. With the help of CATIA V5R21 software to model and perform FEM analysis of container crane structures and the result compared with manual calculation. The error rate between software and normal calculation is 6,86 %. The critical point of stress occurs at boom. The results of the analysis of the reliability of the container crane structure using Monte Carlo show that the reliability value of the structure after 21 years is decreasing.

Keywords: Container Crane, FEM, Monte Carlo, Reliability Structure, Stress

Nomenclature

σ	Tegangan normal
P	Gaya
A	Luas permukaan
τ	Tegangan geser
V	Gaya vertikal
I	Momen inersia
Q	Momen statis
B	Lebar penampang
σ_v, σ_v	Tegangan von mises
σ_x, σ_x	Tegangan normal
σ_y, σ_y	Tegangan bending
τ_{xy}, τ_{xy}	Tegangan geser
$\sigma_{ijin}, \sigma_{ijin}$	Tegangan ijin
$\sigma_{tensile}, \sigma_{tensile}$	Kuat tarik
SF	Safety Factor
PoF	Probability of Failure
n	Jumlah kejadian
N	Jumlah sampel
K	Nilai keandalan

1. PENDAHULUAN

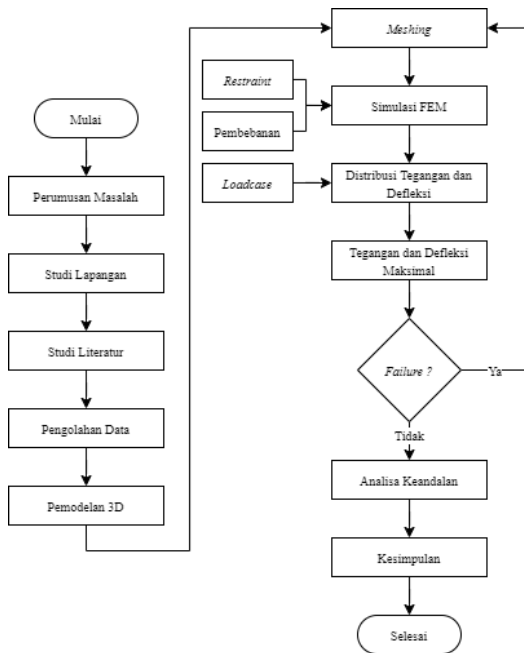
Struktur *container crane* dalam operasinya mendapatkan pengaruh yang signifikan dari pemakaian dan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, struktur tersebut haruslah mampu menunjukkan performa terbaik pada saat terjadi proses bongkar muat. Dengan kata lain harus memiliki tingkat keandalan yang baik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai keandalan struktur *container crane* – 05 setelah beroperasi 21 tahun. *Software* yang digunakan dalam penelitian ini adalah CATIA V5R21 untuk analisa FEM dan *minitab* untuk melakukan simulasi monte carlo. Struktur yang akan dianalisa meliputi struktur utama *container crane* yaitu *girder, boom, column, sill beam*, dan struktur penunjang lainnya seperti *horizontal beam*. Variasi pembebanan yang dilakukan sebesar 60%, 100%, dan 110% dari SWL. Gaya angin, korosi, dan getaran diabaikan.

2. METODOLOGI.

2.1 Metodologi penelitian

Langkah – langkah yang dilakukan dalam penelitian ini digambarkan dalam diagram alir, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

2.2 Tegangan pada permukaan

Tegangan pada permukaan merupakan gaya distribusi internal yang bisa dibagi menjadi dua komponen : normal (tegak lurus) dengan potongan penampang, yang disebut dengan tegangan normal, dan tangensial (paralel) dengan potongan penampang, yang disebut dengan tegangan geser. Kombinasi tegangan tersebut adalah tegangan *von mises*. [8]

2.3 Tegangan normal

Tegangan normal (*Normal Stress*) didefinisikan sebagai gaya normal dibagi dengan luasan dari gaya internal. [8]. Untuk menghitung tegangan normal dapat dilihat pada persamaan 1.

$$\sigma = \frac{P}{A} \sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

2.4 Tegangan geser

Shear stress atau disebut juga tegangan geser yaitu terjadi ketika suatu material dikenai beban dengan arah melintang terhadap permukaan material. [3]. Shear stress sering terjadi pada mur, pin/jepitan, dan *rivet* (keling). Menghitung tegangan geser dapat dilihat pada persamaan 2. [7]

$$\tau = \frac{V \cdot Q}{I \cdot b} \quad (2)$$

2.5 Tegangan von mises

Tegangan von mises didefinisikan sebagai tegangan tarik uniaksial yang dapat menghasilkan energi distorsi sama dengan yang dihasilkan oleh kombinasi tegangan yang bekerja [6]. Untuk mengetahui nilai tegangan von mises dua dimensi dapat dihitung menggunakan persamaan 3. [1]

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (3)$$

2.6 Tegangan ijin

Berikut adalah rumus mencari nilai tegangan ijin yang dinyatakan dalam persamaan 4. [5]

$$\sigma_{ijin} = \frac{\sigma_{tensile}}{SF} \sigma_{ijin} = \frac{\sigma_{tensile}}{SF} \quad (4)$$

2.7 Data Material

Jenis material pada struktur *container crane* mengacu dari data spesifikasi *crane*. Dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1: Data Material

Properties	Value	Unit
Tensile Strength	490 - 610	MPa
Yield Strength	275 - 325	MPa
Modulus elasticity	210,000	N / mm ²
Poisson's Ratio	0.3	-
Steel Density	7850	Kg / m ³

(sumber : dokumentasi pribadi)

2.8 Moda kegagalan

Moda kegagalan atau *limit state* adalah pernyataan lingkup masalah dalam mendefinisikan kriteria kegagalan. [4]. *Limit state* terdiri dari dua daerah tinjauan yaitu daerah aman (*safety*) dan gagal (*failure*). *Probability of Failure* yaitu jumlah probabilitas yang berlokasi di daerah *failure*. Contoh moda kegagalan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2: Moda Kegagalan

Moda kegagalan
$Yield\ strength \leq tegangan$
Ukuran kritis crack \leq pertumbuhan crack
Ketebalan material \leq kedalaman korosi

(sumber : Erlanda, 2011)

2.9 Monte Carlo

Metode monte carlo dapat didefinisikan sebagai suatu metode yang digunakan untuk mensimulasikan berbagai pola atau perilaku dari sistem secara fisis dan matematis. Metode monte carlo digunakan untuk menemukan solusi ke dari problem matematis dengan banyak variabel yang tidak bisa dengan mudah dipecahkan, sebagai contoh, dengan hitungan integral, atau metode numeris lainnya. Untuk berbagai jenis permasalahan, tingkat efisiensinya berkaitan antara peningkatan metode numeris dengan peningkatan dari dimensi permasalahan. [2].

2.10 Nilai Keandalan

Peluang kegagalan adalah rasio antara jumlah kejadian gagal dan jumlah sampel. [4]. Dapat dihitung dengan persamaan 5.

$$PoF = \frac{n \cdot PoF}{N} = \frac{n}{N} \quad (5)$$

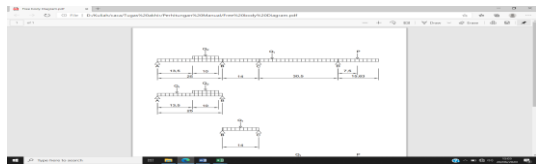
Maka nilai keandalan struktur dapat dicari dengan persamaan 6.

$$K = 1 - Pof \quad (6)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan tegangan *bending*

Perhitungan tegangan *bending* pada struktur *container crane* dilakukan sesuai data yang telah didapatkan. Beban yang dimasukkan dalam perhitungan adalah beban angkat sebesar 100% SWL dan beban ruang mesin dengan letak pembebanan pada *girder* dan *boom*. Peletakan beban dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram Freebody

Dari hasil perhitungan nilai tegangan *bending* menggunakan persamaan 1, didapatkan nilai sebesar 215,426 MPa.

3.2 Perhitungan Tegangan Geser

Perhitungan tegangan geser dilakukan pada titik D karena pada titik D terjadi gaya vertikal terbesar yaitu 577349,191 N. Nilai tegangan geser dapat dihitung menggunakan persamaan 2. Hasil perhitungan tegangan geser, didapatkan nilai sebesar 0,529642 MPa.

3.3 Perhitungan Tegangan Von Mises

Perhitungan tegangan von mises dapat dilakukan dengan mengkombinasikan nilai tegangan *bending*, geser dan normal. Tegangan normal bernilai 0 karena tidak ada gaya yang sejajar dengan *girder*. Dengan menggunakan persamaan 3, maka didapatkan nilai tegangan von mises sebesar 215,4283 MPa. Nilai tegangan von mises akan digunakan sebagai validasi dengan hasil simulasi FEM.

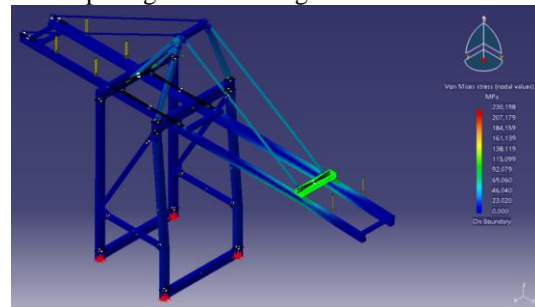
3.4 Simulasi FEM

Simulasi FEM dilakukan dengan menggunakan *software* CATIA V5R21. Langkah awal yang dilakukan adalah dengan memodelkan struktur *container crane* sesuai dengan data *detail drawing* yang telah didapat. Setelah itu, dilakukan proses *meshing*. Ukuran *mesh* yang digunakan sebesar 200 mm. Setelah *mesh* sudah terbentuk pada struktur *container crane*, maka dilakukan langkah selanjutnya yaitu pemberian *restraint* dan titik pembebanan. Titik *restraint* terletak pada bagian bawah *column*, dimana pada bagian inilah yang langsung terhubung dengan roda *container crane*. Titik pembebanan dilakukan pada bagian

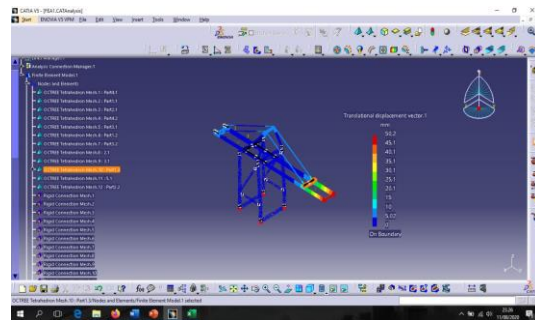
girder dan *boom*. Pembebanan akibat beban angkat berupa beban terpusat dengan nilai sesuai dengan variasi beban yang ditentukan. Variasi pembebanan terdiri dari 60% SWL, 100% SWL, dan 110% SWL. Pembebanan akibat ruang mesin berupa beban merata yang terletak pada bagian *girder* sebesar 6370 N/m.

3.5 Distribusi tegangan dan defleksi

Hasil yang diperoleh dari analisa FEM yaitu nilai tegangan maksimal dan defleksi. Pada pembebanan 100% didapatkan nilai tegangan maksimal sebesar 230,198 MPa dan defleksi sebesar 159 mm. Hasil simulasi FEM dengan variasi pembebanan sebesar 100% SWL dapat dilihat pada gambar 3 dan gambar 4.



Gambar 3. Hasil Tegangan Von Mises



Gambar 4. Hasil Defleksi

3.6 Validasi simulasi FEM

Dari 2 nilai tegangan maksimal akibat beban 100% SWL, maka dapat dihitung persentase *error*. Hasil tegangan maksimal perhitungan sebesar 215,4283 MPa dan hasil tegangan maksimal simulasi FEM menggunakan *software* CATIA V5R21 sebesar 230,198 MPa. Maka nilai persentase *error* sebesar 6,86%.

3.7 Analisa Keandalan

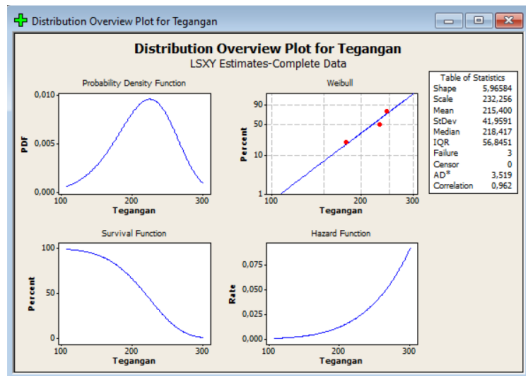
Nilai dari tegangan von mises maksimal yang didapat pada tiap variasi pembebanan yang dapat dilihat pada tabel 3,

Tabel 3: Hasil Tegangan Maksimal

No.	Persentase SWL (%)	Tegangan Maksimal (MPa)	Lokasi Kritis
1	60	177,573	<i>Boom</i>
2	100	230,198	<i>Boom</i>

3	110	243,355	Boom
---	-----	---------	------

Nilai tegangan tersebut akan diuji jenis distribusi statistiknya menggunakan bantuan *software minitab 16*. Hasil dari uji distribusi menghasilkan jenis distribusi *weibull* dengan parameter *shape* 5,96584 dan *scale* 232,256. Dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Uji distribusi Tegangan

Dari jenis distribusi yang didapat, digunakan sebagai nilai *input* untuk pembuatan *random number generator*. Jumlah bilangan acak yang dibuat sebanyak 10, 100, 1000, 10000, dan 100000. Semakin banyak bilangan yang dibuat maka hasilnya akan semakin akurat.

Dari bilangan acak tersebut akan ditentukan moda kegagalannya. Moda kegagalan dari struktur *container crane* adalah jika tegangan yang terjadi melebihi tegangan ijin, maka struktur tersebut dikatakan gagal menerima tegangan yang diberikan. Jika tegangan yang terjadi kurang dari sama dengan tegangan ijin, maka struktur tersebut dikatakan sukses atau andal. Tegangan ijin dihitung menggunakan persamaan 4. Maka, didapatkan nilai tegangan ijin sebesar 277,273 MPa.

Peluang kegagalan struktur dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5. Sehingga juga dapat dihitung nilai keandalannya dengan menggunakan persamaan 6. Untuk mempermudah pembacaan, maka hasil perhitungan disajikan dalam tabel. Dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4: Hasil Analisa Keandalan

No	Jumlah Sample	PoF	Nilai Keandalan	Nilai Kegagalan
1	10	0	1	0
2	100	0,1	0,9	0,1
3	1.000	0,086	0,914	0,086
4	10.000	0,0903	0,9097	0,0903
5	100.000	0,08736	0,91264	0,08736

Dari hasil analisa keandalan yang telah dilakukan, didapatkan hasil sebagai berikut :

Nilai keandalan mengalami penurunan dari 10 sample sampai 100.000 sampel.

Pada 10 sampel yang dibuat, didapatkan peluang kegagalan sebesar 0 dan nilai keandalan struktur sebesar 1. Pada 100 sampel yang dibuat, didapatkan peluang kegagalan sebesar 0,1 dan nilai keandalan struktur sebesar 0,9. Pada 1.000 sampel yang dibuat, didapatkan peluang kegagalan sebesar 0,086 dan nilai keandalan struktur sebesar 0,914. Pada 10.000 sampel yang dibuat, didapatkan peluang kegagalan sebesar 0,0903 dan nilai keandalan struktur sebesar 0,9097. Pada 100.000 sampel yang dibuat, didapatkan peluang kegagalan sebesar 0,08736 dan nilai keandalan struktur sebesar 0,91264.

Nilai keandalan struktur *container crane* akan berubah sesuai dengan tegangan yang diterima. Apabila banyak sampel tegangan yang lebih besar dari tegangan ijin, maka nilai keandalan struktur *container crane* akan turun.

4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan perhitungan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Distribusi tegangan mayoritas terjadi pada bagian *girder* dan *boom* dengan titik kritis terletak pada bagian *boom*.
2. Nilai keandalan struktur *container crane* SWL 40 ton mengalami penurunan setelah digunakan selama 21 tahun. Nilai keandalan struktur *container crane* sebesar 0,91264 dengan peluang kegagalan struktur *container crane* sebesar 0,08736.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Ichlas, Imran. (2017). *Simulasi Tegangan Von Mises dan Analisa Safety Factor Gantry Crane Kapasitas 3 Ton*. Tugas Akhir, Teknik Mesin
- [2] Bagaskara, Prakoso Adi. (2018). *Dictio Community*. URL: <https://www.dictio.id/t/apa-itu-monte-carlo-simulation-dalam-teknik-identifikasi-risiko/21599/2>
- [3] Beer, F., 2012. *Mechanics of Material*. 6th edition. McGraw-Hill. New York.
- [4] Erlanda, R. W., 2011. *Analisis Keandalan Pipa Lurus Akibat Korosi Eksternal pada Jalur Pipa Transmisi Gas dengan Menggunakan Simulasi Monte Carlo*. Skripsi, Teknik Metalurgi dan Material. Universitas Indonesia. Depok.
- [5] FEM, 1998. *Rules for The Design of Hoisting Appliances 3rd edition*. France.
- [6] Gdoutos, E., 2005. *An Introduction of Fracture Mechanics*. 2nd edition. Springer. Netherland.
- [7] Prasetyatama, Dwi Qaqa. (2012). *Tegangan Geser pada Struktur Kapal Kontainer*. Tugas Akhir. Teknik Perkapalan. ITS. Surabaya.
- [8] Vable, Madhukar. (2010). *Mechanics of Materials*. 2nd edition. Michigan Technological University. Michigan