

# ANALISIS DEFLEKSI DAN FREKUENSI NATURAL MAKSIMUM PADA LENGAN (BOOM) REACHSTACKER DENGAN VARIABEL SUDUT LENGAN BERUBAH, PANJANG LENGAN DAN BEBAN MAKSIMUM

Harun Al-Rasyid<sup>1</sup>, Tugiman Karmani<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara  
Jln. Almamater Universitas Sumatera Utara

<sup>2</sup>Staff Pengajar Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara

## ABSTRAK

Reachstacker merupakan salah satu alat pengangkut dan pemindah bahan yang digunakan pada pelabuhan petikemas sebagai transportasi penyusunan dan pemindahan petikemas. Reachstacker adalah mobil crane khusus untuk mengangkat dan menyusun petikemas yang digunakan pada terminal petikemas. Reachstacker mempunyai intensitas pemakaian yang tinggi dan peranan penting di pelabuhan maka kemungkinan terjadinya kerusakan harus dapat dicegah dan diminimalisir. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada reachstacker maka penelitian terhadap berbagai kondisi pembebanan reachstacker sangat diperlukan. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung defleksi maksimum dan frekuensi natural maksimum yang terjadi pada lengan (boom) reachstacker akibat beban dinamik, dan membandingkan hasilnya dengan perhitungan software Ansys Workbench 12.1. Perhitungan dilakukan pada saat mobil dalam keadaan diam dengan kombinasi sudut pengangkatan yang berbeda, panjang lengan maksimum, dan beban maksimum 40 ton. Metode perhitungan defleksi teoritis dilakukan dengan metode discontinuity function (Macaulay function) dan metode perhitungan frekuensi natural lengan dengan menggunakan metode Rayleigh (Rayleigh Energy Methode), untuk metode perhitungan Ansys digunakan metode Modal Analysis pada enam kondisi sudut pengangkatan yang berbeda. Hasil perhitungan teoritis menunjukkan bahwa nilai defleksi terbesar terjadi pada sudut pengangkatan  $10^{\circ}$  sebesar  $-0,319156$  m, untuk nilai frekuensi natural sistem terbesar terjadi pada sudut  $50^{\circ}$  sebesar  $1,4771$  Hz, dan untuk nilai frekuensi natural lengan (boom) terbesar terjadi pada sudut  $50^{\circ}$  sebesar  $5,3627$  Hz. Perhitungan Software Ansys frekuensi natural pada lengan terbesar, terjadi pada sudut  $40^{\circ}$  sebesar  $4,8911$  Hz.

*Kata kunci : Reachstacker, defleksi, frekuensi natural.*

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu pesawat pengangkut yang digunakan dalam pelabuhan petikemas yaitu reachstacker. Reachstacker adalah mobil crane khusus untuk mengangkat peti kemas yang digunakan pada terminal pelabuhan petikemas. Reachstacker sebagai salah satu mesin pengangkat peti kemas mempunyai peranan besar untuk kelancaran arus keluar masuk barang di pelabuhan. Reachstacker digunakan untuk menyusun peti kemas yang akan dimuat ke kapal dari truck pengangkut peti kemas yang berasal dari penyimpanan sementara peti

kemas. Reachstacker mempunyai intensitas pemakaian yang tinggi dan peranan penting di pelabuhan maka kemungkinan terjadinya kerusakan harus dapat dicegah dan diminimalisir. Untuk mencegah terjadinya kerusakan pada reachstacker maka penelitian terhadap berbagai kondisi pembebanan reachstacker sangat diperlukan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Reachstacker

Reachstacker merupakan salah satu tipe pesawat pengangkut dimaksudkan untuk keperluan mengangkat dan memindahkan barang dari suatu tempat ketempat yang lain

yang jangkauannya relatif terbatas. Reachstacker merupakan peralatan pemindah bahan yang paling flexibel yang dioperasikan pada terminal pelabuhan kecil maupun sedang. Reachstacker dapat mengangkat kontainer dalam jarak dekat dengan relatif cepat dan juga dapat menyusun kontainer pada

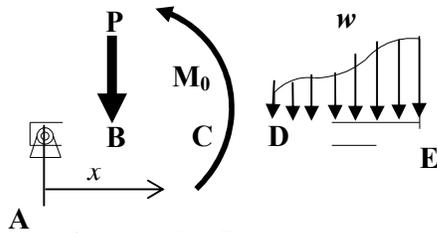


gambar 1.1 Reachstacker

berbagai posisi tergantung ruang gerak yang ada. Reachstacker terlihat pada gambar 1.1 dapat mengangkat beban hingga 45 ton. Terdapat beberapa keterbatasan dalam pengoperasian sudut lengan pengangkat. Keterbatasan ini menjadi objek kajian penelitian ini. Terdapat 2 komponen utama pada Reachstacker, yang bisa dilihat pada gambar 1.1 yaitu :

1. Spreader
2. Lengan/ boom

**2.2 Fungsi Macaulay**



Gambar 2.1 Balok yang mengalami berbagai pembebanan

Secara umum fungsi dapat dituliskan dalam bentuk

$$(x - a)^n = \begin{cases} 0 & \text{untuk } x < a \\ (x - a)^n & \text{untuk } x \geq a, \end{cases}$$

$n \geq 0$

Disini x menunjukkan posisi koordinat dari sebuah titik sepanjang balok ( beam ), dan a adalah sebuah lokasi pada balok ( beam ) dimana "discontinuity" terjadi, dinamakan titik dimana distribusi gaya berawal. Fungsi ini berlaku hanya untuk nilai-nilai eksponensial  $n \geq 0$ . Integrasi dari fungsi Macaulay mengikuti aturan yang sama dengan fungsi-fungsi yang aljabar lain secara umum, sebagai contoh :

$$\int (x - a)^n dx = \frac{(x - a)^{n+1}}{n + 1} + C$$

**2.3 Getaran**

Getaran adalah gerakan bolak-balik dalam suatu interval waktu tertentu. Getaran berhubungan dengan gerak osilasi benda dan gaya yang berhubungan dengan gerak tersebut. Semua benda yang mempunyai massa dan elastisitas mampu bergetar, jadi kebanyakan mesin dan struktur rekayasa (engineering) mengalami getaran sampai derajat tertentu dan rancangannya biasanya memerlukan pertimbangan sifat osilasinya.

**2.4 Metoda Energi ( Rayleigh Energy Methode )**

Dalam sebuah sistem konservatif energi totalnya adalah konstan, dan persamaan differensial gerak juga dapat dibentuk dari prinsip kekekalan energi. Untuk getaran bebas suatu sistem yang tak teredam, energinya sebagian adalah kinetik dan sebagian adalah potensial. Energi kinetik T disimpan dalam massanya karena kecepatannya, sedang energi potensial U disimpan dalam bentuk energi

regangan dalam perubahan bentuk elastik atau kerja yang dilakukan dalam suatu medan gaya seperti gravitasi. Karena energi total adalah konstan, maka laju perubahan energi adalah nol seperti digambarkan oleh persamaan berikut :

$$T + U = \text{konstan}$$

$$\frac{d}{dt}(T+U)=0$$

Bila perhatian hanya tertuju pada frekuensi natural sistem, maka frekuensi itu dapat ditentukan dari pertimbangan berikut. Dari prinsip kekekalan energi dapat ditulis

$$T_1 + U_1 = T_2 + U_2$$

Dengan indeks 1 dan 2 menyatakan saat yang berbeda. Ambil indeks 1 saat ketika massa sedang melewati posisi kesetimbangan statik dan dipilih  $U_1 = 0$  sebagai acuan untuk energi potensial. Ambil indeks 2 saat yang sesuai dengan simpangan maksimum dari massa. Pada posisi ini, kecepatan massa adalah nol, hingga  $T_2 = 0$ . Jadi diperoleh

$$T_1 + 0 = 0 + U_2$$

Namun sistem mengalami gerak harmonik, maka  $T_1$  dan  $U_2$  merupakan nilai maksimum, jadi

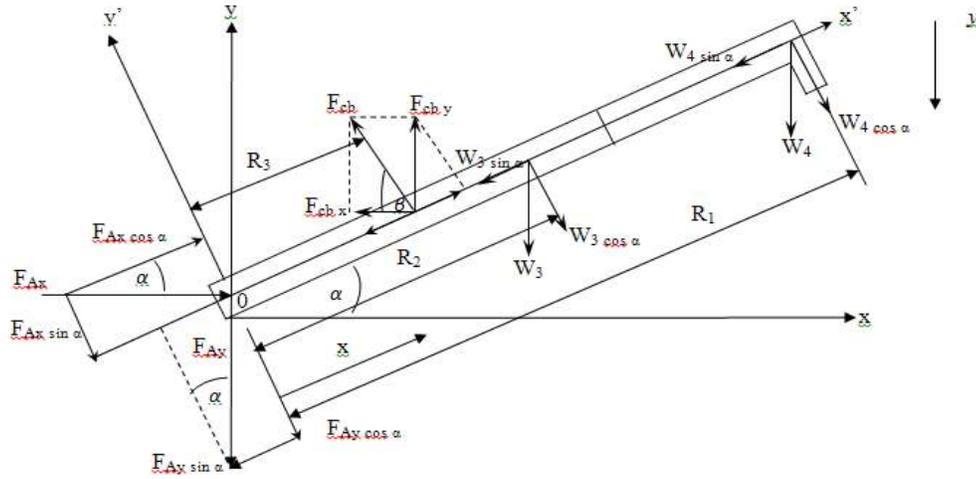
$$T_{maks} = U_{maks}$$

### 3. METODE ANALISA DEFLEKSI DAN FREKUENSI NATURAL MAKSIMUM PADA LENGAN (BOOM) REACHSTACKER

Metodologi awal dalam pengerjaan studi ini adalah penggambaran diagram benda bebas dari gaya-gaya luar yang terjadi pada kondisi kesetimbangan statis dan dinamis, kemudian mencari persamaan defleksi dan persamaan frekuensi natural. Persamaan defleksi dicari dengan menggunakan fungsi *macaulay*, dan persamaan frekuensi natural dicari dengan menggunakan metode energi (*Rayleigh energy method*)

### 4. HASIL PERHITUNGAN

Untuk menghitung nilai defleksi maksimum dan frekuensi natural maksimum yang terjadi pada lengan (boom) reachstacker digunakan persamaan-persamaan yang ada diatas dan perhitungannya dilakukan secara manual, kemudian hasil perhitungan divalidasi dengan hasil perhitungan dari Software Ansys Workbench 12.1. Hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2 .



Gambar 4.1 Diagram benda bebas lengan (boom) reachstacker

Dari gambar diatas, dapat disusun persamaan defleksi dengan mengingat kembali fungsi *macaulay*:

$$M(x) = -F_{ax} \sin \alpha (x-0)^1 + (-F_{ay} \cos \alpha)(x-0)^1 - (-F_{cbx} \sin \alpha)(x-3,15)^1 - (-F_{cby} \cos \alpha)(x-3,15)^1 - W_3 \cos \alpha (x-7,75)^1 \dots\dots\dots(4.1)$$

$$M(x) = -F_{ax} \sin \alpha x - F_{ay} \cos \alpha x + F_{cbx} \sin \alpha (x-3,15) + F_{cby} \cos \alpha (x-3,15) - W_3 \cos \alpha (x-7,75)$$

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = M(x)$$

$$EI \frac{d^2 y}{dx^2} = -F_{ax} \sin \alpha x - F_{ay} \cos \alpha x + F_{cbx} \sin \alpha (x-3,15) + F_{cby} \cos \alpha (x-3,15) - W_3 \cos \alpha (x-7,75)$$

$$EI \frac{dy}{dx} = -F_{ax} \sin \alpha \frac{1}{2} x^2 - F_{ay} \cos \alpha \frac{1}{2} x^2 + \frac{F_{cbx} \sin \alpha}{2} (x-3,15)^2 + \frac{F_{cby} \cos \alpha}{2} (x-3,15)^2 - \frac{W_3 \cos \alpha}{2} (x-7,75)^2 + C_1 \dots\dots\dots(4.2)$$

$$EI y = -\frac{F_{ax} \sin \alpha}{6} x^3 - \frac{F_{ay} \cos \alpha}{6} x^3 + \frac{F_{cbx} \sin \alpha}{6} (x-3,15)^3 + \frac{F_{cby} \cos \alpha}{6} (x-3,15)^3 - \frac{W_3 \cos \alpha}{6} (x-7,75)^3 + C_1 x + C_2 \dots\dots\dots(4.3)$$

untuk

mencari konstanta integrasi  $C_1$  dan  $C_2$  digunakan kondisi batas, yaitu :

Kondisi batas I,

$$y = 0, \text{ pada } x = 0, \quad x < a, \quad (x - a) = 0$$

$$0 = 0 - 0 + 0 + 0 - 0 + C_2$$

$$C_2 = 0 \dots\dots\dots$$

Kondisi batas II,

$y = 0$ , pada  $x = 3,15$

$$0 = -\frac{F_{ax} \sin \alpha (3,15)^3}{6} - \frac{F_{ay} \cos \alpha (3,15)^3}{6} + 0 + C_1 (3,15) + 0$$

$$C_1 = (F_{ax} \sin \alpha + F_{ay} \cos \alpha)(1,654) \dots \dots (4.4)$$

maka setelah konstanta-konstanta integrasi didapat dapat disubstitusikan ke dalam persamaan (3.5) sehingga persamaan tersebut dapat ditulis :

$$EIy = \frac{1}{6} \left[ -F_{ax} \sin \alpha x^3 - F_{ay} \cos \alpha x^3 + F_{cbx} \sin \alpha (x-3,15)^3 + F_{cby} \cos \alpha (x-3,15)^3 - W_3 \cos \alpha (x-7,75)^3 \right]$$

$$+ [(F_{ax} \sin \alpha + F_{ay} \cos \alpha)(1,654)](x) \dots \dots \dots (4.5)$$

Dari persamaan (3.6) yang telah didapat dapat digunakan untuk mencari nilai defleksi maksimum.

Dari gambar 3.5 defleksi maksimum terjadi pada  $x = 15,5$

$y_{max}$ ,  $x = 15,5 m$

$$EIy_{max} = -[(F_{ax} \sin \alpha + F_{ay} \cos \alpha)(620,64)] + (F_{cbx} \sin \alpha + F_{cby} \cos \alpha)(313,942) - W_3 \cos \alpha (77,58)$$

$$+ (F_{ax} \sin \alpha + F_{ay} \cos \alpha)(25,637) \dots \dots \dots (4.6)$$

Persamaan frekuensi natural sistem :

$$\omega = \sqrt{\frac{EI \int_0^l \left( \frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx}{w \int_0^l y^2 dx + \frac{m}{2} (y|_{x=l})^2}} \dots \dots \dots (3.10)$$

Persamaan frekuensi natural lengan :

$$\omega = \sqrt{\frac{EI \int_0^l \left( \frac{d^2 y}{dx^2} \right)^2 dx}{w \int_0^l y^2 dx}} \dots \dots \dots (3.11)$$

Tabel 3.1 Perbandingan hasil perhitungan defleksi lengan ( boom ) perhitungan teoritis dengan simulasi Ansys

Sudut Angkat Lengan	Perhitungan teoritis ( m )	Perhitungan Ansys ( m )	Galat ( % )
10 <sup>0</sup>	-0,319156	-0,28271	11,41
20 <sup>0</sup>	-0,306102	-0,27737	9,38
30 <sup>0</sup>	-0,282107	-0,26359	6,56
40 <sup>0</sup>	-0,249536	-0,24188	3,06
50 <sup>0</sup>	-0,208313	-0,21295	2,22
60 <sup>0</sup>	-0,162873	-0,17742	8,93

Tabel 3.2 Perbandingan hasil perhitungan frekuensi natural lengan ( boom ) perhitungan teoritis dengan simulasi Ansys

Sudut Angkat Lengan	Perhitungan teoritis ( Hz )	Perhitungan Ansys ( Hz )	Galat ( % )
10 <sup>0</sup>	5,3243	4,8879	8,19
20 <sup>0</sup>	5,3241	4,8893	8,16
30 <sup>0</sup>	5,3270	4,8906	8,19
40 <sup>0</sup>	5,3240	4,8911	8,13
50 <sup>0</sup>	5,3627	4,8897	8,82
60 <sup>0</sup>	5,2865	4,8908	7,48

**5. KESIMPULAN**

1. Dari hasil perhitungan teoritis dan simulasi dengan software Ansys Workbench 12.1 didapat hasil perhitungan defleksi dan frekuensi natural :
  - Defleksi maksimum terjadi pada sudut 10<sup>0</sup> = ↓0,319156 m
  - Frekuensi natural sistem maksimum terjadi pada sudut 50<sup>0</sup>=1,4771 Hz
  - Frekuensi natural lengan (boom) terjadi pada sudut 50<sup>0</sup> = 5,3627 Hz
  - Perhitungan Software Ansys Workbench 12.1 frekuensi natural lengan (boom) maksimum terjadi pada sudut 40<sup>0</sup> = 4,8911 Hz
2. Metode Rayleigh adalah metode yang digunakan untuk mendapatkan perkiraan yang baik untuk mendapatkan nilai

frekuensi dasar, dan dari hasil perhitungan yang ditunjukkan metode Rayleigh mendekati frekuensi dasar dari arah yang lebih tinggi, dalam menetapkan frekuensi dasar menggunakan metode Rayleigh haruslah dipilih kurva yang disumsikan, meskipun deviasi kurva penyimpangan disumsikan akan berbeda sedikit dibandingkan kurva eksak, turunannya dapat mengandung kesalahan besar, sehingga energi regangan yang dihitung dari persamaan :

$$U_{max} = \frac{EI}{2} \int_0^l \left( \frac{d^2y}{dx^2} \right)^2 dx \dots\dots\dots$$

, menjadi tidak teliti, sehingga terjadi galat error yang besar terhadap hasil perhitungan software Ansys Workbench 12.1.

3. Dengan mendapatkan nilai frekuensi natural sistem dan frekuensi natural lengan maka frekuensi harmonic yang dihasilkan pada pengoperasian

lengan (boom) reachstacker nilainya tidak boleh sama dengan nilai frekuensi natural lengan dan frekuensi natural sistem.

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Bako, Roni Hamdani ,2009, “*Analisis Teoritis Kapasitas Angkat Terhadap Keseimbangan Peralatan Pengangkat Reachstacker Pada Berbagai Kombinasi Sudut Dan Panjang Lengan Pengangkat*” Skripsi, Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara, Medan.
2. Gere & Timoshenko. 1996, *Mekanika Bahan*, jilid I Edisi Keempat, Alih Bahasa Ir. Bambang Suryoatmono, MSc.PhD. Jakarta: Penerbit Erlangga.
3. Gere & Timoshenko. 1996, *Mekanika Bahan*, jilid II Edisi Keempat, Alih Bahasa Ir. Bambang Suryoatmono, MSc.PhD. Jakarta: Penerbit Erlangga
4. Hibbeler, R.C. 2008, *Engineering Mechanics Statics*. Ninth Edition In SI units: Prentice Hall International.
5. Hibbeler, R.C. 2005, *Mechanics Of Material*. Sixth Edition In SI units: Prentice Hall International.
6. James, M.L./Smith, G.M./Wolford, J.C./Whaley, P.W. 1989, *Vibration of Mechanical and Structural System*, Harper & Row Publisher ; New York.
7. Thomson, William, T, 1993, *Vibration With Applications*, Prentice-Hall International, California.
8. Satiano, Budi.2012, “*Analisa Gaya – Gaya dan Tegangan Pada Alat Pengangkat/ Penyusun Peti Kemas ( Reachstacker ) dengan Variabel Sudut dan Panjang Lengan Berubah, Beban Tetap*”. Skripsi,