

ANALISIS TEORITIS KORELASI KAPASITAS ANGKAT TERHADAP BERBAGAI KOMBINASI SUDUT DAN PANJANG LENGAN ANGKAT PERALATAN PENGANGKAT REACHSTACKER

Tugiman

Staf pengajar Departemen Teknik Mesin FT.USU

ABSTRAK

Pada proses pemindahan petikemas yang dilakukan oleh peralatan pengangkat reachstacker dapat dilakukan analisis keseimbangan. Dari analisis ini akan diperoleh optimasi pengaruh antara panjang lengan pengangkat (boom), sudut lengan pengangkat dengan beban dari peralatan pengangkat reachstacker. Dari analisis tersebut akan didapat grafik dari karakteristik pengangkatan peralatan reachstacker. Perhitungan keseimbangan peralatan pengangkat reachstacker dilakukan dalam dua dimensi. Perhitungan dilakukan dengan metode superposisi. Selanjutnya akan didapat formulasi keseimbangan untuk tumpuan roda depan dan belakang. Dengan menggunakan formulasi keseimbangan dapat dicari perhitungan secara menyeluruh pada berbagai sudut dan panjang lengan pengangkat. Cara kedua yang dilakukan yaitu menggunakan metode persamaan diferensial untuk mencari titik maksimum yang terjadi pada peralatan pengangkat reachstacker. Hasil Analisis teoritis dinyatakan dalam bentuk grafik karakteristik pengangkatan. Grafik ini menyatakan bahwa semakin panjang jangkauan maka semakin kecil beban yang dapat diangkat. Dan letak kondisi yang paling kritis terletak pada lengan penyangga hidrolis.

Kata Kunci : Reachstacker, Karakteristik Pengangkatan,

I. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kecenderungan untuk memakai peti kemas saat ini semakin tinggi seiring dengan semakin berkembangnya pertumbuhan ekonomi Indonesia yang terlihat dari semakin ramainya kegiatan ekspor dan impor dipelabuhan-pelabuhan besar. Sehubungan dengan itu maka dibutuhkan suatu pesawat pengangkat yang dapat mengangkat dan memindahkan peti kemas dari pelabuhan ke kapal atau sebaliknya dengan gerak dan mobilitas yang baik dan aman.

Salah satu pesawat pengangkat yang digunakan dalam pelabuhan peti kemas yaitu reachstacker. Reachstacker adalah mobil crane khusus untuk mengangkat peti kemas yang digunakan pada terminal pelabuhan peti kemas. 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. Karena mempunyai intensitas pemakaian yang tinggi dan peranan penting dipelabuhan 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. KAJIAN PUSTAKA

Reachstacker merupakan salah satu tipe pesawat pengangkat 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.

Spesifikasi Reachstacker

Data teknis reachstacker untuk perhitungan dapat dilihat pada gambar 1 yaitu :

Daya, putaran = 246 kW, 2000 rpm

Tipe boom = 2 seksi teleskopik

M_{maks} = Berat kendaraan
= 68400 kg

W = Beban maksimal
= 299008 N

u = jarak maksimum spreader dari tanah
= 15 m

l_l = wheel base
= 5,9 m

m = Panjang lengan boom(pendek/ panjang)
= 9,3/16,06 m

n/q = Tinggi keseluruhan,min/max
= 4,7/18,1 m

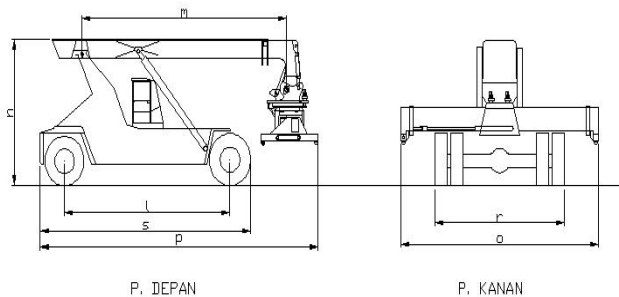
o = Lebar keseluruhan,20feet/40feet
= 6,04/12,17 m

p = Panjang Keseluruhan dengan lengan
= 11,5 m

r = jarak roda terluar
= 4,2 m

s = panjang mobil
= 8 m

t = jarak titik berat beban ke roda depan
= 1,9 m



Gambar 1 Data teknis reachstacker

Mekanisme Reachstacker

Reachstacker mempunyai beberapa mekanisme dalam melakukan kerja sebagai satu kesatuan dari mesin pengangkat. Beberapa mekanisme bersinergi menjadikan

reachstacker dapat bergerak mengangkat sekaligus berjalan. Berikut merupakan mekanisme yang terdapat pada reachstacker yaitu :

1. Mekanisme penggerak
2. Mekanisme Pengangkat

Persamaan Keseimbangan

Persamaan keseimbangan pada reachstacker merupakan hal yang paling utama diketahui sebelum melakukan analisis menyeluruh tentang mekanisme gaya yang terjadi. Dengan menggunakan rumus dasar gaya yaitu :

$$F = m \cdot a$$

dapat ditentukan suatu persamaan keseimbangan benda bebas yang menjadi dasar bagi analisis keseimbangan pada reachstacker. Pada saat reachstacker berjalan dengan mengangkat beban maka persamaan keseimbangan yang dapat digunakan untuk komponen sumbu x yaitu :

$$\sum F_x = m \cdot a_x$$

dimana a_x merupakan percepatan yang terjadi pada reachstacker yang sedang bergerak. Untuk komponen gaya pada sumbu y digunakan rumus

$$\begin{aligned} \sum F_y &= 0; \\ \sum F_y &= 0; \\ \sum M &= 0 \end{aligned}$$

Nilai 0 disebabkan karena perubahan percepatan yang terjadi pada gerakan vertical reachstacker sangat kecil sehingga bisa diabaikan. Pada saat akselerasi dan pengereman persamaan yang dapat digunakan yaitu persamaan [lit.1 hal 196] :

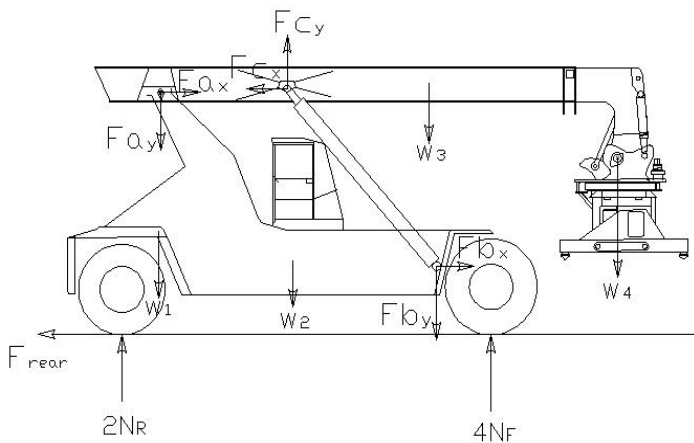
$$M_G = I_G \cdot \alpha$$

dimana M_G merupakan momen pada titik berat α merupakan percepatan sudut I_G merupakan momen inersia pada titik berat.

3. ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Analisis Gaya Kestimbangan Pada Kondisi Idle

Kondisi idle reachstacker merupakan kondisi dimana lengan pengangkat tidak mengangkat beban dan posisi lengan sejajar dengan permukaan tanah seperti pada gambar 2.

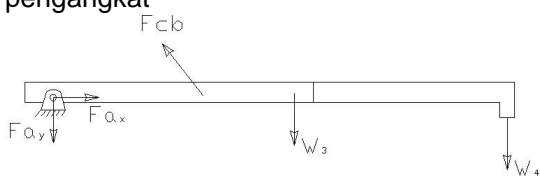


Gambar 2. Kondisi idle gaya yang terjadi pada lengan/ boom pengangkat

Analisa gaya yang terjadi pada reachstacker dapat pecah menjadi beberapa bagian. Bagian tersebut dapat dipisahkan menjadi tiga bagian besar yaitu

1. Bagian lengan/ boom

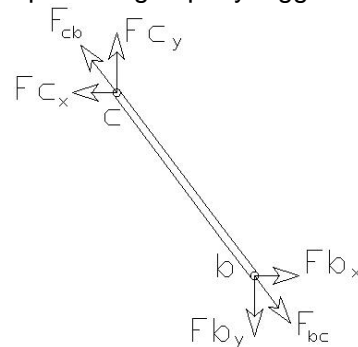
Bagian lengan pengangkat memiliki dua posisi tumpuan yaitu titik a dan titik c. adapun gaya lain yang terjadi berupa gaya yang berasal dari berat lengan penyangga itu sendiri maupun yang berasal dari berat peti kemas dan komponen pengangkat spreader dan trolley. Gambar 3 menunjukkan gaya yang terjadi pada lengan/ boom pengangkat



Gambar 3. Gaya luar lengan pengangkat pada posisi idle

2. Bagian penyangga hidrolik

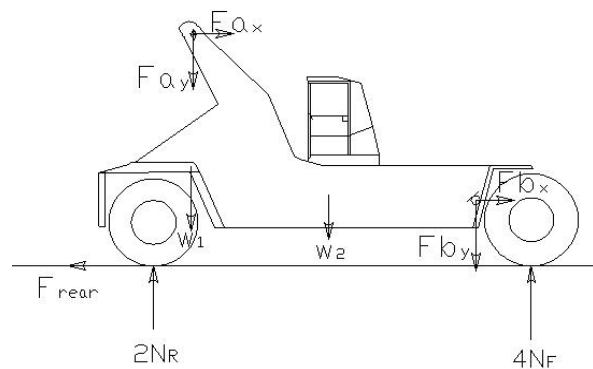
Bagian penyangga hidrolik merupakan batang dua gaya. Gaya yang terjadi sama besar dan berlawanan arah. Sudut yang terjadi pada lengan penyangga hidrolik dengan permukaan tanah disebut sudut β . Gambar 4 menunjukkan diagram gaya yang terjadi pada lengan penyangga hidrolik



Gambar 4. Diagram gaya lengan penyangga hidrolik

3. Bagian mobil reachstacker

Bagian mobil reachstacker merupakan bagian yang menopang seluruh komponen yang ada. Pada mobil reachstacker terdapat gaya-gaya yang secara langsung mempengaruhi kestabilan dari seluruh komponen pada reachstacker. Gaya-gaya yang terjadi meliputi gaya normal yang ada pada bagian roda. Bila gaya normal yang terjadi pada masing-masing roda bernilai negatif itu berarti terjadi jungkir atau tidak seimbang pada reachstacker. Pada gambar 5. ditunjukkan gaya yang terjadi pada mobil reachstacker.



Gambar 5. Diagram gaya pada mobil reachstacker

Analisa gaya pada lengan pengangkat

Dengan menggunakan persamaan 2.4 maka dapat dihitung kesetimbangan pada reachstacker. analisa dibagi menjadi dua bagian besar yaitu pada bagian lengan lalu analisa kesetimbangan pada bagian mobil reachstacker

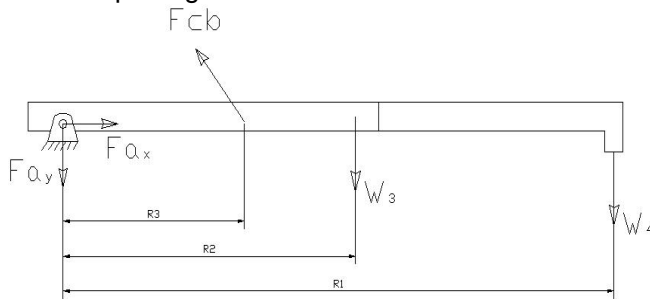
Dari data survey didapat :

- $\alpha_{maks} = 60^\circ$
- $G = 49050N$ (berat trolley dan komponen pengait spreader)
- $W = m \cdot g$
- $W = 40000 \text{ kg} \times 9,81 = 392400 \text{ N}$

dimana :

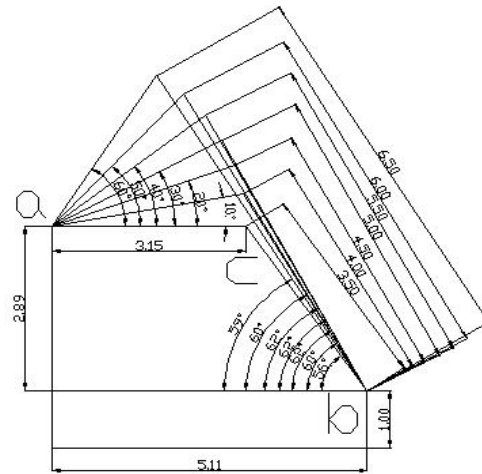
- α , yaitu sudut lengan pengangkat maksimum terhadap garis horizontal
- G , yaitu berat trolley dan spreader (komponen pengait peti kemas)
- W , yaitu berat peti kemas dengan kapasitas maksimum 40 ton

Dengan menggambarkan gaya gaya yang bekerja pada lengan pengangkat, maka didapat diagram benda bebas pada gambar 6.



Gambar 6. Gaya luar pada lengan

Panjang lengan penyangga hidrolik maksimum yaitu 6,5 meter dan minimum yaitu 3,5 m. Untuk sudut antara penyangga hidrolik dengan sumbu x dapat ditentukan melalui verifikasi berdasarkan panjang lengan penyangga hidrolik. Hasil verifikasi sudut pada lengan F_{cb} terlihat pada gambar 7.



Gambar 7. Hasil verifikasi sudut

Dari gambar 6 terlihat sudut α dengan garis horizontal membentuk sudut. Sudut yang terjadi tidak banyak mengalami perubahan. Panjang lengan hidrolik yaitu 3,5 m dan panjang maksimum lengan penyangga hidrolik yaitu 6,5 m.

Maka persamaan kesetimbangan pada boom pengangkat dapat dilihat pada gambar 6, maka diperoleh :

$$\sum F_x = 0$$

$$F_{ax} - F_{cb} \cos 56 = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$-F_{ay} + F_{cb} \sin 56 - W_3 - W_4 = 0$$

$$-F_{ay} + F_{cb} \sin 56 = 196200 \text{ N}$$

$$\sum M_a = 0$$

$$-W_4 \cdot r_1 - W_3 \cdot r_2 + F_{cb} \sin 56 \cdot R_3 + F_{cb} \cos 56 \cdot R_4 = 0$$

Dimana :

- R_1 yaitu panjang lengan sebesar 9,5 m
- R_2 yaitu jarak titik tumpu ke titik berat lengan sebesar 4,8 m
- R_3 yaitu jarak titik tumpu ke titik penyangga hidrolik 3,15 m
- R_4 yaitu jarak proyeksi y titik tumpu ke titik penyangga 3,15 sin α

maka didapat :

$$F_{cb} = 535,3 \text{ kN}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 3 ke 1 didapat nilai

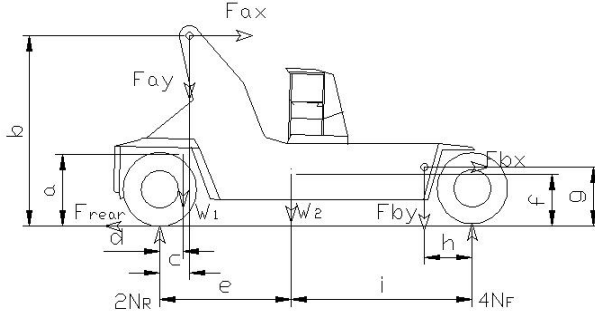
$$F_{ax} = 299,34 \text{ kN}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 3 ke 2 didapat nilai

$$F_{ay} = 247,59 \text{ kN}$$

Analisa gaya pada mobil reachstacker

Dengan metode persamaan kesetimbangan, gaya keseimbangan mobil reachstacker dapat diketahui pada gambar 8.



Gambar 8. Gaya pada mobil reachstacker [sumber : survey dilapangan]

Asumsi terjadinya jungkir pada reachstacker yaitu bila gaya normal yang terjadi pada titik sentuh roda belakang atau roda depan dengan permukaan tanah ≤ 0 .

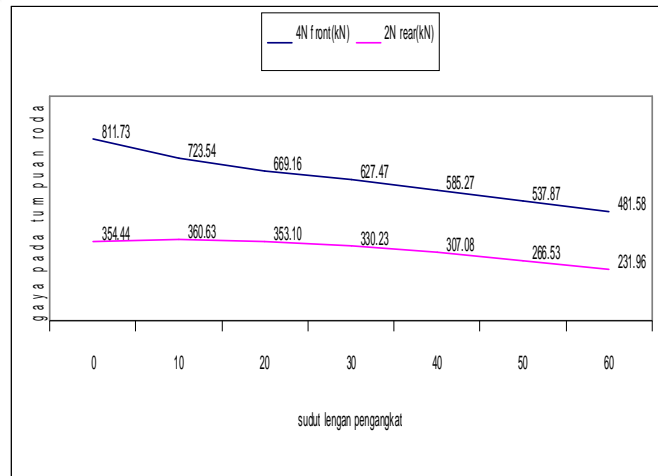
$$\sum M_{rear} = 0$$

$$2N_{rear} = 354,44 \text{ kN}$$

jadi pada saat kondisi idle yaitu tanpa pembebanan, gaya normal yang terjadi pada roda depan sebesar 811,73 kN dan gaya yang diterima pada roda belakang sebesar 354,44 kN. Analisis Gaya Pada Kondisi Sudut Dan Panjang Lengan Pengangkat Bervariasi Tanpa Pembebanan. Gaya normal pada tumpuan roda dengan variasi sudut lengan pengangkat. Sudut lengan pengangkat merupakan salah

satu variabel bebas dari perhitungan kesetimbangan yang terjadi pada mekanisme reachstacker. Variasi sudut lengan pengangkat ini diambil dengan interval 10° . Perhitungan dimulai pada saat kondisi idle atau 0° sampai dengan kondisi maksimum yaitu 60° . Perhitungan dilakukan berbagai sudut lengan dengan panjang lengan minimum 9,5 meter.

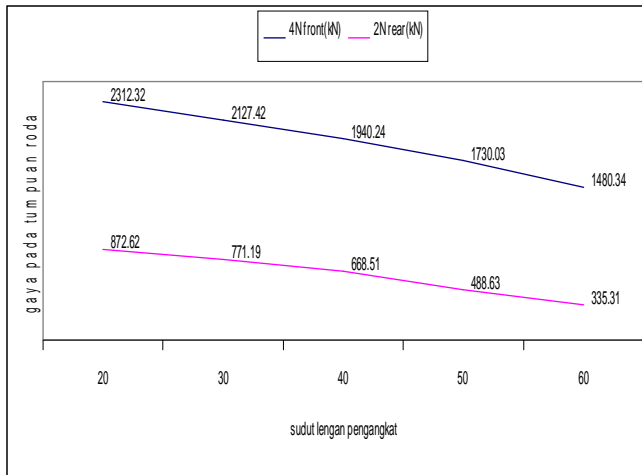
Variasi panjang lengan diambil dengan interval 0,5 meter. Penentuan interval ini digunakan untuk menjaga tingkat keakurasian perhitungan. Panjang lengan dimulai pada kondisi pemendek atau posisi idle sampai pada posisi maksimum yaitu 15,5 meter diperlihatkan pada gambar 9.



Gambar 9. Gaya pada tumpuan roda dengan panjang lengan 9,5 meter tanpa beban

Analisis Gaya Pada Kondisi Sudut Dan Panjang Lengan Pengangkat Bervariasi dengan Pembebanan Maksimum.

Pada pembebanan maksimum sudah mewakili dari keseluruhan berat yang diijinkan. Kecendrungan gaya gaya yang terjadi pada kondisi pembebanan hampir sama dengan pada kondisi tanpa beban yaitu semakin besar sudut lengan pangangkat maka semakin kecil gaya yang terjadi. Namun terdapat perbedaan pada nilai W_4 , yaitu jika sebelumnya berat W_4 , sama dengan berat trolley dan spreader maka pada kondisi dengan pembebanan ditambahkan berat petikemas sebesar 40000 kg yang setara dengan 392400 N. Pada pembebanan ini, variasi yang sama juga dilakukan seperti pada tanpa pembebanan. Sudut yang diambil dengan interval 10° dan panjang lengan pangangkat dengan interval 0,5 meter dengan beban maksimum 40 ton.



Gambar 10. Gaya pada tumpuan roda dengan panjang lengan 11,5 meter dengan beban 40 ton

Analisis Gaya Maksimum Dengan Persamaan Diferensial

Perhitungan persamaan diferensial dengan variabel sudut berubah, panjang lengan tetap, beban tetap, untuk mendapatkan gaya maksimum.

Pada perhitungan ini, rumus yang digunakan untuk perhitungan menggunakan persamaan diferensial diambil dari persamaan (4) dan (5).

$$4N_{front} = \frac{F_{ax} 3,9 + F_{bx} 0,8 + F_{by} 5,15 + F_{ay} 0,1 + w_1 0,05 + w_2 2,9}{6}$$

$$2N_{rear} = \frac{-F_{ax} 3,9 + F_{ay} 5,9 + F_{by} 0,85 - F_{bx} 0,8 + w_2 3,1 + w_1 5,95}{6}$$

Variabel yang menjadi batasan dalam perhitungan ini adalah sama dengan perhitungan sebelumnya yaitu variabel sudut lengan pangangkat, panjang lengan. Kedua variabel tersebut dapat digunakan kedalam persamaan diferensial dengan kombinasinya.

Kedua kombinasi dalam penggunaan persamaan diferensial yaitu :

1. sudut lengan berubah, panjang lengan dan beban tetap
2. panjang lengan berubah, sudut lengan dan beban tetap.

1. Sudut lengan berubah, panjang lengan dan beban tetap.

$2N_{rear}$ dan $4N_{front}$ dapat dijabarkan terlebih dahulu sebelum diambil turunan pertamanya dengan mensubstitusikan besar dari masing masing gaya yang dicari. Persamaan diferensial akan menjadi $\frac{d2N_{rear}}{d\alpha} = 0$.

$$\frac{d2N_{rear}}{d\alpha} = 0$$

dan mengambil panjang lengan 14 meter tanpa dikenakan beban maka persamaan

$$2N_{rear} = \frac{-F_{ax} 3,9 + F_{ay} 5,9 + F_{by} 0,85 - F_{bx} 0,8 + w_2 3,1 + w_1 5,95}{6}$$

akan diturunkan dengan persamaan

$$\frac{d2N_{rear}}{d\alpha} = 0$$

$$-956,97 \cos^2 \alpha = 956,97 \sin^2 \alpha$$

$$\frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = -1$$

$$\left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}\right)^2 = -1$$

$$\tan^2 \alpha = -1$$

$$\alpha = 0^\circ \sim 90^\circ$$

persamaan
 $4N_{front} =$

$$\frac{F_{ax} 3,9 + F_{bx} 0,8 + F_{by} 5,15 + F_{ay} 0,1 + w_1 0,05 + w_2 2,9}{6}$$

akan diturunkan dengan persamaan

$$\frac{d4N_{front}}{d\alpha} = 0$$

$$-4644,89 \cos^2\alpha = 4644,89 \sin^2\alpha$$

$$\frac{\sin^2 \alpha}{\cos^2 \alpha} = -1$$

$$\left(\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}\right)^2 = -1$$

$$\tan^2 \alpha = -1$$

$$\alpha = 0^\circ \sim 90^\circ$$

2. Panjang lengan berubah, sudut lengan dan beban tetap.

Cara yang digunakan sama dengan metode yang pertama yaitu persamaan 4 dan 5 dijabarkan dengan data yang ada. Sedangkan nilai yang berubah yaitu panjang lengan. Panjang lengan dilambangkan dengan x. Nilai α yang pada perhitungan pertama merupakan nilai yang menjadi faktor turunan, maka pada perhitungan ini nilai α diasumsikan dengan besar 50° dan data yang lain diambil dari data pada perhitungan sebelumnya.

Persamaan
 $2N_{rear} =$

akan diturunkan dengan persamaan

$$\frac{d2N_{rear}}{dx} = 0$$

$$\frac{d2N_{rear}}{dx} = 15,32$$

Persamaan
 $4N_{front} =$

$$\frac{F_{ax} 3,9 + F_{bx} 0,8 + F_{by} 5,15 + F_{ay} 0,1 + w_1 0,05 + w_2 2,9}{6}$$

dapat diturunkan dengan persamaan

$$\frac{d4N_{front}}{dx} = 0$$

$$\frac{d4N_{front}}{dx} = 36,71$$

4. DISKUSI HASIL

Dari ketiga kondisi batas yang dibuat terdapat satu kondisi yang berpeluang besar bagi reachstacker untuk terjadi ketidak seimbangan. Kondisi itu terjadi pada panjang lengan. Kondisi panjang lengan yang berpeluang yaitu pada kondisi panjang 15,32 meter. Namun secara keseluruhan peluang untuk terjadinya jungkir sangat kecil terjadi. Hal yang terjadi yaitu kerusakan pada lengan penyangga hidrolik yang diakibatkan oleh besarnya beban yang diberikan pada lengan penyangga tersebut. Kondisi ini dapat dibuktikan dengan perhitungan tekanan hidrolik berikut

yaitu: $P = \frac{F}{A}$

F : gaya yang terjadi pada lengan penyangga hidrolik yang pada perhitungan sebelumnya diberi notasi Fcb (kN)

A : luas penampang saluran hidrolik, d = 12 cm (m²)

P : tekanan hidrolik ($\frac{kN}{m^2}$)

dengan menggunakan gaya Fcb dari perhitungan tabel 3.23 dengan sudut 10° yaitu 2780,33 kN dan

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$d = 12 \text{ cm} = 0,12 \text{ m}$$

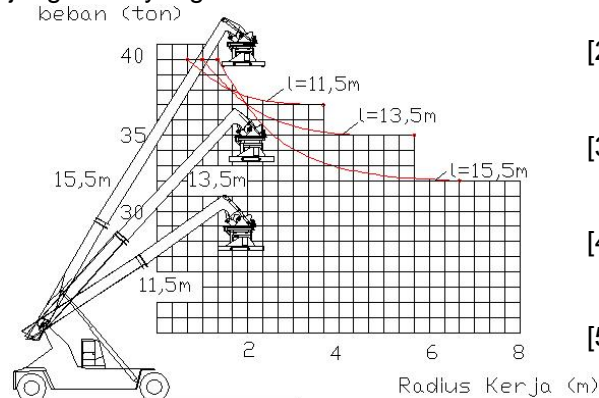
$$A = 0,0113 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka } P = \frac{2780,33}{0,0113} = 246017,69 \frac{kN}{m^2}$$

$$P = 24,6 \text{ MPa}$$

Dengan gaya Fcb sebesar 2780,33 kN didapat tekanan sebesar 24,6 MPa. Tekanan yang terjadi melebihi tekanan hidrolik maksimum yang dapat diberikan pada alat pengangkat reachstacker yaitu sebesar 20,7 MPa. Grafik tersebut dapat dilihat pada gambar 11. Kurva yang berwarna merah merupakan grafik lengan pengangkat dengan panjang 11,5 13,5

dan 15,5 meter. Ordinat dari diagram menyatakan kapasitas angkat dari mesin pengangkat reachstacker yang aman, dalam ton. Sedang absis menyatakan jarak jangkauan dari mesin pengangkat reachstacker yaitu tiap titik dari kurva menunjukkan berat aman dari beban yang diangkat pada jarak jangkauan yang ditentukan.

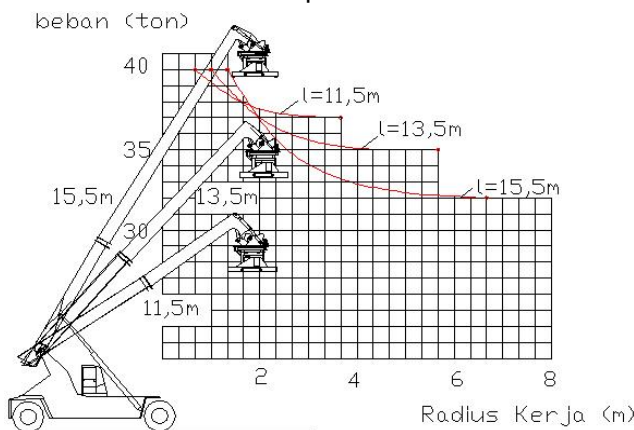


Gambar 11. Karakteristik pebebanan

6. KESIMPULAN

Dalam studi ini diperoleh kesimpulan :

1. Bahwasanya semakin panjang lengan pengangkat maka semakin kecil beban yang dapat diangkat dan semakin besar sudut lengan pengangkat maka semakin besar beban yang dapat diangkat oleh mesin pengangkat reachstacker. Seperti terlihat pada grafik karakteristik pembebanan



2. Posisi kritis terjadi pada titik b dan c lengan penyangga hidrolik. Hal ini diperoleh dari hasil perhitungan gaya yang terdapat pada titik

tumpu roda depan selalu jauh lebih besar dari gaya pada titik tumpu roda belakang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hibbeler, R. C. 2001, *Dynamics study pack*. London: Prentice-Hall International
- [2] Hibbeler, R. C. 1998, *Mekanika teknik statika*. Jakarta: Prenhallindo
- [3] Kamarwan, Sidharta S. 1988, *Mekanika Bahan*. Jakarta: Penerbit Universitas Indonesia.
- [4] Meriam, J.L. 1991, *Mekanika teknik edisi kedua statika*. Jakarta: Penerbit Erlangga
- [5] Muin, Syamsir A. 1995, *Pesawat-pesawat pengangkat*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- [6] Sullivan, James A. 1989, *Fluid power theory and applications fourth edition*. London: Prentice-Hall International.
- [7] Verschoof, J. 1999, *Cranes-Design, Practice, and Maintenance*. London: Great Britain.
- [8] Gere & Timoshenko. 1996, *Mekanika Bahan*. Edisi Kedua, Versi SI. Alih Bahasa Hans. J. Wospakrik. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [9] Ronni Bako, *Analisis Teoritis Kapasitas Angkat Terhadap Keseimbangan Peralatan Pengangkat Reachstacker Pada Berbagai Kombinasi Sudut Dan Panjang Lengan Pengangkat*, Skripsi mahasiswa Departemen Teknik Mesin, Tahun 2009