

OPTIMASI LETAK RODA *TRAILER* DAN TITIK GANDENG PADA SISTEM GANDENG *WEIGHT TRANSFER*

Sam Herodian¹⁾, Saiful Azis²⁾, Ramayanti Bulan³⁾
Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian
Institut Pertanian Bogor

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk membuat model simulasi untuk mencari letak titik berat traktor dan *trailer berporos tunggal* dengan sistem gandeng *weight transfer* yang ideal, dengan pengaturan letak roda *trailer* yang berubah-ubah.. Simulasi dilakukan dengan menggunakan bantuan pemrograman berbasis visual dengan *Object Oriented Programming*. Letak roda *trailer* yang tepat akan memberikan dampak kepada kestabilan pengendalian traktor sehingga akan mengurangi efek kerusakan pada titik gandeng dan meminimalkan kerusakan lahan karena pembebanan. Out put penelitian ini juga dapat menjadi dasar pemilihan jenis traktor yang sesuai dengan pembebanan tertentu. Perancangan *trailer* dilakukan dengan berdasarkan 4 pertimbangan desain antara lain : Berat beban *trailer* yang dipindahkan ke traktor, besar *Ground pressure* yang diijinkan dan besar beban maks roda traktor, letak poros roda *trailer* dari titik gandeng serta nilai kestabilan traktor dan *trailer* pada saat proses transportasi.

Kata kunci : *traktor, trailer, weight transfer, titik berat*

PENDAHULUAN

Traktor roda 4 yang disambung dengan unit *trailer berporos tunggal* merupakan salah satu alat transportasi yang digunakan untuk mengangkut tebu hasil tebangan. Dalam prakteknya alat ini masih mengalami beberapa hambatan antara lain slip, kerusakan pada komponen sambungan, kerusakan pada roda dan kerusakan pada chasis *trailer*.

Hambatan-hambatan tersebut mayoritas disebabkan ketidak tepatan letak roda *trailer* serta beban angkut yang berlebihan. Penelitian akan modifikasi *trailer* dengan penempatan letak roda *trailer* yang tepat, akan menjadikan perpindahan berat dari *trailer* ke traktor menjadi lebih optimal sehingga hambatan dan kerusakan baik pada *trailer* ataupun *drawbar* traktor dapat dihindari

Penelitian ini bertujuan untuk membuat model simulasi untuk mencari letak titik berat traktor dan *trailer berporos tunggal* dengan sistem gandeng *weight transfer* yang ideal, dengan pengaturan letak roda *trailer* yang berubah-ubah.

METODE PENELITIAN

1. Pengukuran dimensi utama unit *trailer*, traktor dan sistem *hitching*
Pengukuran meliputi dimensi traktor dan *trailer* secara keseluruhan. Dimensi yang diukur meliputi jarak antar roda, tinggi *drawbar*, jarak sumbu tiap roda, jarak antara arah gaya *drawbar* terhadap titik pusat penyangga
2. Uji timbang
Letak titik berat horisontal dapat ditentukan dengan cara penimbangan dalam keadaan body traktor/ *trailer* lurus. Uji timbang sekaligus digunakan untuk mengetahui beban gaya pada setiap roda traktor dan *trailer* serta pemindahan berat kepada traktor sebagai unit penarik. Menurut Goering (1989) letak titik berat pada sumbu horisontal dapat diduga dengan menggunakan uji timbang dengan posisi penimbangan
Menurut Barger (1958) letak titik berat pada sumbu vertikal dapat diduga dengan menggunakan uji timbang dengan posisi penimbangan miring. Dalam penelitian ini digunakan metode moment pertama untuk menghitung letak titik berat vertikal. Moment pertama memperhitungkan letak titik pusat massa *chassis trailer* dan beban angkut yang ada di dalam bak penampung, dengan asumsi bentuk *chassis* dan bak penampung adalah empat persegi panjang dengan penyebaran massa yang merata di semua titik.
3. Membuat model simulasi
Simulasi dilakukan dengan modifikasi letak roda *trailer*. Simulasi dilakukan baik terhadap *trailer* dengan pembebanan ataupun tanpa pembebanan.
Simulasi ini bertujuan untuk mencari posisi roda *trailer* yang tepat sehingga dihasilkan letak titik berat optimal. Posisi yang tepat akan berpengaruh terhadap letak titik pusat massa (*center of gravity*) pada traktor dan *trailer*
Simulasi dilakukan dengan menggunakan pemrograman berbasis visual dengan *Object Oriented Programming (OOP)*.
Perangkat lunak ini dapat memperlancar pelaksanaan simulasi karena menghasilkan data-data visual dari setiap parameter yang dicantumkan pada proses simulasi. Training akan dilakukan dengan *looping* berulang kali pada setiap data masukan sehingga akan diperoleh nilai-nilai dimensi *trailer* yang dikehendaki untuk setiap traktor dengan pembebanan tertentu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemilihan jenis traktor dan *trailer* yang dibutuhkan dalam proses transportasi dapat dilakukan dari beberapa aspek yaitu dari segi perancangan *trailer* dan spesifikasi traktor yang digunakan sesuai dengan beban angkut. Pemilihan *trailer* dan traktor yang disesuaikan dengan besar beban angkut dapat ditentukan dengan beberapa permasalahan mendasar sebagai berikut:

- a. Perhitungan letak titik berat horisontal dan vertikal optimal baik traktor ataupun *trailer*.
- b. Bentuk dan karakteristik lahan.
- c. Model dan dimensi *trailer* yang umum digunakan dalam kegiatan transportasi hasil pertanian dari lahan ke factory
- d. Jenis traktor yang digunakan dalam proses transportasi

Sedangkan perancangan dimensi *trailer* dapat dimulai dari beberapa pendekatan antara lain :

- a. Beban angkut *trailer* maksimal yang dikehendaki
- b. Berat beban *trailer* yang dipindahkan ke traktor
- c. Besar *Ground pressure* yang diijinkan dan besar beban maks roda traktor
- d. Letak poros roda *trailer* dari titik gandeng
- e. Nilai kestabilan traktor dan *trailer* pada saat proses transportasi

Pemilihan traktor sebagai unit penarik *trailer* dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan antara lain :

- a. Daya minimal yang harus dimiliki traktor untuk beban tarik tertentu
- b. Beban gaya pada roda traktor
- c. Kestabilan pengendalian traktor

Sedangkan perancangan dimensi *trailer* dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Pendekatan Beban Angkut *Trailer* Maksimum

- Dimensi *trailer* ditentukan dengan jumlah beban angkut maksimal yang dikehendaki. Dengan asumsi tebu dapat disusun sangat rapat (tidak ada celah) dan mempunyai massa jenis yang seragam volume maka bak penampung yang dibutuhkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus

$$V_{bak} = \frac{BAT}{\rho_{tebu}} \times fc \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

- V_{bak} = Volume bak penampung (cm^3)
- BAT = Beban Angkut Tebu (kg)
- ρ_{tebu} = Massa jenis tebu (kg/cm^3)
- fc = faktor koreksi

- Dimensi meliputi lebar chasis, tinggi bak penampung, panjang bak penampung dan panjang chasis. Adapun kaidah penentuan dimensi *trailer* tersebut ditentukan oleh :

- a. Lebar chasis min (*asumsi lebar bak penampung = lebar chasis*) ditentukan oleh lebar jarak tanam dan lebar roda yang digunakan yang dirumuskan sebagai berikut :

$$l_{min} = (n \times JT) + (m \times LG) + (2 \times LR) \quad \dots\dots\dots(2)$$

keterangan :

n = bilangan genap

m = bilangan ganjil

l_{min} = lebar chasis minimum

JT = jarak tanam

LG = lebar guludan

LR = lebar roda

- f. Tinggi bak penampung maksimum ditentukan oleh tinggi bak penampung yang diijinkan agar dapat masuk ke area penggilingan di pabrik gula. Tinggi bak penampung sangat spesifik berbeda antara setiap pabrik. Dalam penelitian ini digunakan tinggi bak penampung maksimum yang digunakan trailer pengangkut tebu di PT. Gula Putih Mataram dengan tinggi bak penampung dari tanah sebesar 275.72 cm.
- g. Panjang bak penampung tergantung dari berapa volume bak penampung yang dibutuhkan. Panjang bak penampung yang optimal akan berpengaruh terhadap kelancaran proses transportasi, dimana tebu tidak akan berceceran sehingga resiko lost cane dapat dikurangi. Dengan asumsi tebu tersusun dengan padat tanpa celah dengan massa jenis seragam maka besar volume bak penampung dapat ditentukan.
- h. Panjang chasis ditentukan oleh panjang bak penampung dengan memperhitungkan faktor pergerakan traktor. Jarak antara bak penampung dengan traktor (pin untuk gerakan memutar) minimal harus 0.5 x lebar chasis sehingga traktor mampu melakukan gerakan berbelok 90o. Panjang chasis sampai titik gandeng ditentukan dengan rumusan sebagai berikut :

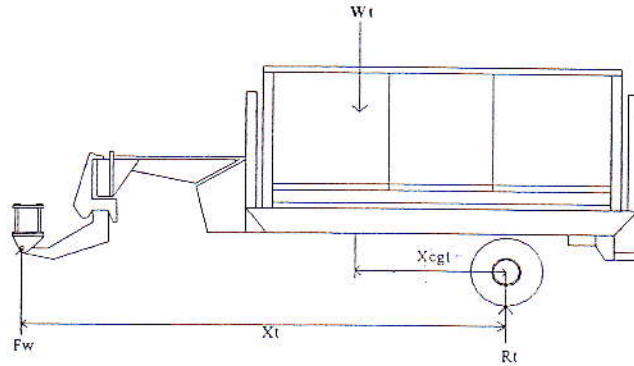
$$P_{min} = P_{bak} + (0.5 \times l_{min}) \quad \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan :

x = jarak antara titik sambung pergerakan memutar sampai dengan titik gandeng dengan traktor.

2. Pendekatan beban yang dipindahkan ke traktor

Beban yang dipindahkan ke traktor tidak hanya diperhitungkan dalam keadaan statis namun juga dalam keadaan dinamis. Beban yang dipindahkan ke traktor akan berpengaruh terhadap letak titik berat traktor dan trailer, sekaligus berpengaruh terhadap besar beban yang dipindahkan untuk masing-masing roda traktor. Pengaruh pembebanan terhadap trailer dapat dijelaskan dalam gambar sebagai berikut :



Gambar 1. Trailer dan gaya-gaya karena pembebanan

Dimana :

F_w = beban yang dipindahkan ke traktor (kg)

X_t = jarak antara poros roda trailer dengan titik gantung (cm)

X_{cgt} = jarak titik berat horisontal trailer dari poros roda trailer (cm)

W_t = berat total trailer (kg)

R_t = gaya tahanan tanah pada roda trailer (kg)

Persamaan letak titik berat trailer dari gambar tersebut adalah :

$$R_t = W_t - F_w \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$X_{cgt} = \frac{F_w \times X_t}{W_t} \quad \dots\dots\dots(5)$$

Sedangkan besar *ground pressure* pada masing-masing roda trailer dapat di tentukan dengan rumusan sebagai berikut :

$$G_{pt} = \frac{R_t}{n \times A_t} \quad \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

G_{pt} = *ground pressure* pada roda trailer (kg/ cm²)

n = jumlah Roda

A_t = luas bidang kontak roda trailer dengan tanah (cm²)

Sedangkan titik pusat massa pada koordinat sumbu y dapat dicari dengan menggunakan moment pertama gabungan antara pusat massa chasis dan beban trailer. Asumsi yang digunakan adalah dimensi chasis dianggap berbentuk segi empat dan dimensi trailer juga dianggap berbentuk segi empat dengan massa yang dianggap tersebar merata pada seluruh luasan. Gambar di bawah menjelaskan lebih lanjut asumsi di atas : Adapun pusat massa trailer dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$y = \frac{(yb \times W) + (yc \times Wo)}{W + Wo} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

y = titik berat *trailer* dalam sumbu y (cm)

y_b = titik berat kontainer (cm)

y_c = titik berat chasis (cm)

W = berat beban angkut tebu (kg)

W_o = berat *trailer* (kg)

Letak titik berat akan berpengaruh terhadap kestabilan pengendalian traktor dimana efek pengangkatan roda depan yang diakibatkan pembebanan *trailer* dapat direduksi. Secara lebih jelasnya hal tersebut akan dihadirkan contoh kasus penyelesaian desain *trailer* di PT. Sweet Indo Lampung dengan pembebanan 10870 kg tebu dengan menggunakan traktor jenis Fiat New Holland.

Jika letak *drawbar* di belakang poros roda belakang traktor, maka akan terjadi penambahan gaya tahanan tanah pada roda belakang traktor dan pengurangan gaya tahanan tanah pada roda depan traktor. Sehingga didapatkan hasil perhitungan sebagai berikut :

$$Rfo' = - 116.51 \text{ kg}$$

$$Rro' = 3620.52 \text{ kg}$$

Sehingga gaya tahanan tanah statis aktual pada roda traktor setelah pembebanan *trailer* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Rfo_{aktual} &= Rfo + Rfo' \\ &= 880 + (- 116.51) \\ &= 763.49 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Rro_{aktual} &= Rro + Rro' \\ &= 5140 + 3620.52 \\ &= 8660.52 \text{ kg} \end{aligned}$$

keterangan :

Rfo_{aktual} = gaya tahanan statis aktual pada roda depan traktor (kg)

Rro_{aktual} = gaya tahanan statis aktual pada roda belakang traktor (kg)

Jika letak titik gandeng berada diantara roda belakang dan roda depan dan belakang traktor maka akan didapatkan nilai gaya tahanan statis yang lebih besar.

Dengan menggunakan perhitungan prinsip keseimbangan gaya secara matematis seperti diatas maka didapatkan rumusan sebagai berikut :

$$Rro_{aktual} = Rro + \frac{Fw \times (x_2 - x_1)}{x_2} \dots\dots\dots(8)$$

$$Rfo_{aktual} = Rfo + \frac{Fw \times x_1}{x_2} \dots\dots\dots(9)$$

Sehingga gaya tahanan tanah statis aktual pada roda depan dan roda belakang traktor dapat ditentukan sebagai berikut :

$$Rr_{aktual} = 8519.31 \text{ kg}$$

$$Rf_{aktual} = 1000.68 \text{ kg}$$

Efek penambahan beban gaya kepada roda depan inilah yang akan membuat pengendalian traktor menjadi lebih stabil. Efek pengangkatan roda depan diminimalisir dengan penambahan beban gaya ke roda depan, sedangkan efek pembebanan yang berlebihan kepada roda belakang dapat dikurangi..

Dari hasil pemrograman dapat diperoleh hasil letak titik berat horisontal trailer adalah 174.8 cm dengan titik berat vertikal 153.74 cm.

3. Pendekatan *ground pressure* yang diijinkan

Pendekatan *ground pressure* akan menentukan tipe roda trailer yang digunakan sehingga efek pemadatan tanah dapat dihindari. Pendekatan ini juga menentukan jenis roda trailer yang digunakan apakah berbentuk tandem, atau single dengan poros ganda. Nilai *ground pressure* untuk roda dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Gp = \frac{R}{c \times Ar} \dots\dots\dots(10)$$

Dimana :

Gp = *Ground pressure* (kg/cm^2)

R = Gaya tahanan tanah untuk setiap roda (kg)

Ar = Luas tapak roda yang menyentuh tanah (cm^2)

c = konstanta sebesar 0.78 (Liljedahl, 1989)

Letak titik berat horisontal trailer yang berada tepat ditengah-tengah jarak antara poros roda trailer dengan titik gandeng akan memberikan efek distribusi beban gaya yang lebih merata untuk roda trailer dan traktor. Distribusi yang baik menjadikan *ground pressure* yang lebih baik bagi roda trailer dan traktor.

Pendekatan *ground pressure* juga mempengaruhi berapa besar pemindahan berat yang diijinkan ke traktor. Gerak dinamis yang dilakukan oleh traktor akan mengakibatkan distribusi pemindahan berat yang spesifik untuk roda depan ataupun belakang traktor. Batas berat yang boleh dipindahkan ke roda traktor adalah selisih dari beban maksimum yang mampu ditahan oleh roda traktor dengan gaya tahanan statis roda traktor yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta Rr_{maks} = Rr_{maks} - Rr' \dots\dots\dots(11)$$

$$\Delta Rf_{maks} = Rf_{maks} - Rf' \dots\dots\dots(12)$$

Dimana :

- ΔRr_{maks} = pemindahan berat maks ke roda belakang traktor (kg)
- Rr_{maks} = beban maksimum yang mampu ditahan oleh roda belakang (kg)
- Rr' = beban gaya aktual pada roda belakang traktor (kg)
- ΔRf_{maks} = pemindahan berat maksimum ke roda depan traktor (kg)
- Rf_{maks} = beban maksimum yang mampu ditahan oleh roda depan (kg)

Adapun besar *ground pressure* roda *trailer* dalam contoh kasus di atas adalah 2.8 Kg/cm². Hal ini berarti masih di atas batas nilai maksimum *ground pressure* untuk lahan tebu kering yaitu 1.84 kg/cm² (Muleenar, 1990).

4. Pendekatan letak roda trailer

Letak roda *trailer* berpengaruh terhadap kestabilan pengendalian traktor dan *trailer*, jika *ground pressure* sebagai faktor pembatas sudah ditetapkan. Kestabilan yang dimaksudkan adalah letak titik berat vertikal. Letak titik berat vertikal *trailer* akan mempengaruhi moment kestabilan dan sudut kritis kemiringan traktor dan *trailer* yang diijinkan. Moment kestabilan traktor dan *trailer* maksimal dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$M = W \times G \times Y \dots\dots\dots(13)$$

Dimana :

- M = moment maksimum traktor dan *trailer* (kg.cm)
- W = berat *trailer* (kg)
- Y = titik berat vertikal *trailer* (cm)
- g = tetapan gravitasi (m/dt²)

Moment maksimum traktor merupakan batas nilai agar traktor dan *trailer* tidak terguling ataupun terangkat pada roda bagian belakang traktor. Cara menghindari nilai moment yang berlebihan adalah dengan membatasi letak titik berat traktor dan *trailer* sehingga nilai sudut kritis traktor dan *trailer* tidak melewati nilai sudut kemiringan lahan.

Besarnya nilai sudut kritis traktor dan *trailer* dapat dirumuskan sebagai berikut (Herodian, 1986) :

$$\alpha_{kritis} = tg^{-1} \left(\frac{l}{2 \times Y} \right) \dots\dots\dots(14)$$

Dimana :

α_{kritis} = Sudut kritis traktor dan *trailer*

Y = Letak titik berat vertikal (cm)

l = lebar body *trailer* (cm)

secara umum letak titik berat semakin rendah akan semakin bagus karena sudut kritis akan semakin besar sehingga traktor akan lebih stabil dalam pengendaliannya.

Dari contoh kasus di atas maka didapatkan nilai moment maksimum sebesar 2 261 541.2 kg.cm. Moment ini merupakan nilai kritis yang membatasi manuver traktor. Sedangkan nilai sudut kritis adalah sebesar 45.26°. Angka ini merupakan nilai kritis batas kemiringan sudut lahan yang oleh dilewati oleh traktor. Jika lahan yang dilewati mempunyai kemiringan yang lebih maka traktor dapat terguling.

5. Pemilihan jenis traktor

1. Daya minimal yang harus dimiliki traktor untuk beban tarik tertentu

Tenaga yang dihasilkan dari dalam mesin traktor adalah IHP (*Internal Horse Power*), sedangkan tenaga keluarannya adalah BHP (*Break Horse Power*) yang sudah berkurang karena terjadinya efisiensi di dalam mesin traktor.

Tenaga linear dapat dirumuskan sebagai perbandingan antara perkalian gaya dan jarak dengan waktu, sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$P = \frac{F \times S}{c}$$

Dimana :

P = Tenaga linear (HP)

F = gaya (N)

S = kecepatan (km/jam)

c = konstanta sebesar 3.6 (Hunt, 2977)

Tenaga yang dikeluarkan oleh traktor dalam menarik beban juga dipengaruhi oleh seberapa besar traksi yang dihasilkan oleh traktor dan besar *rolling resistance trailer*. *Rolling resistance* (tahanan gelinding), didefinisikan sebagai besarnya beban gaya yang diperlukan agar roda traktor dapat menggelinding. Pada traktor yang menarik *trailer* maka *rolling resistance* adalah *rolling resistance trailer* yaitu besarnya gaya yang diperlukan agar roda traktor dapat menggelinding untuk menarik beban pada *trailer*. Besar *rolling resistance* dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Oida, 1992) :

$$RR = C_{rr} \times W_n \dots\dots\dots(15)$$

Dimana :

RR = tahanan gelinding/ *rolling resistance* (N)

W_n = gaya tahanan tanah pada setiap roda pada sumbu horisontal (N)

C_{rr} = koefisien gelinding pada roda

Sedangkan besar traksi dapat dirumuskan sebagai berikut (Liljedahl, 1989):\

$$Tr = C_t \times W_n \dots\dots\dots(16)$$

Dimana :

Tr = traksi (N)

C_t = koefisien traksi pada tanah

W_n = gaya tahanan tanah pada setiap roda dengan arah tegak lurus dengan permukaan (N)

Gaya minimal yang dibutuhkan traktor beroda 4 yang menarik *trailer* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$FdB = RR_{trailer} + Rg_{trailer} \dots\dots\dots(17)$$

Dimana :

$Rg_{trailer}$ = gaya berat *trailer* dan beban (N)

$RR_{trailer}$ = *rolling resistance* pada roda *trailer* dan beban (N)

FdB = gaya tarik *drawbar* (N)

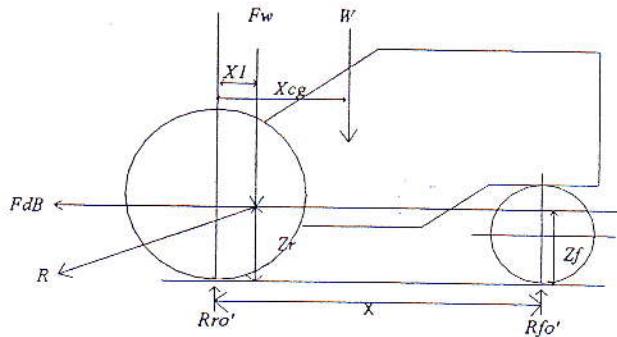
Dalam sistem gandeng *weight transfer* traksi diperhitungkan dari besar gaya aktual setelah pembebanan Besar traksi akan sangat berpengaruh terhadap pergerakan traktor dan *trailer*. Traktor tidak akan bisa bergerak jika traksi lebih kecil daripada beban gaya dan tenaga traktor lebih kecil dari total tenaga yang diperlukan.. Sehingga secara matematis sarat sebuah traktor dapat bergerak dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$BHP > P$$

Dalam contoh kasus ini diperoleh hasil tenaga yang dibutuhkan sebesar 125.58 HP untuk kemiringan lahan 15°.

2. Beban gaya pada roda traktor

Pengaruh pembebanan *trailer* terhadap traktor dapat diterangkan dalam gambar 2 sebagai berikut :



Dimana :

FdB = Gaya tarik *drawbar* (Kg)

Zr = Jarak antara perpanjangan garis proyeksi FdB dengan titik tumpu roda belakang traktor (cm)

Rro' = Gaya tahanan aktual roda belakang traktor (cm)

Rfo' = Gaya tahanan aktual roda depan traktor (cm)

W = Berat traktor (Kg)

Xcg = Jarak titik berat traktor dengan poros roda belakang traktor (cm)

Fw = Berat beban *trailer* yang dipindahkan ke traktor (Kg)

$X1$ = Jarak antara poros roda traktor dengan titik gandeng (cm)

X = Jarak antara poros roda depan dan roda belakang traktor (cm)

R = Resultan gaya-gaya yang bekerja pada titik gandeng

Letak titik berat dapat dicari dalam keadaan statis. Adapun gaya tahanan tanah yang ada pada traktor adalah gaya tahanan tanah aktual. Gaya tahanan aktual diartikan sebagai gaya tahanan roda traktor pada saat pembebanan, yang dipengaruhi oleh besarnya berat yang dipindahkan dari *trailer* ke traktor (Fw). Secara matematis beban gaya aktual dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$Rro' = Rro + \frac{Fw \times (X - X1)}{X} \dots\dots(18)$$

$$Rfo' = Rfo + \frac{Fw \times X1}{X} \dots\dots\dots(19)$$

Dimana :

Rro = Gaya tahanan tanah statis roda belakang traktor (Kg)

Rfo = Gaya tahanan tanah statis roda depan traktor (Kg)

Pencarian letak titik berat traktor dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$X - X_{cg} = \frac{(Rr \times X) - (Fw \times (X - X1))}{W} \quad (20)$$

Dimana :

X_{cg} = letak titik berat horisontal traktor dari poros roda belakang traktor (cm)

Perpindahan berat terhadap roda depan ataupun roda belakang diartikan sebagai selisih antara Gaya tahanan dinamis dengan gaya tahanan statis pada roda depan dan roda belakang traktor. Gaya tahanan dinamis dipengaruhi oleh faktor FdB pada saat traktor bergerak dengan menarik beban. Jika traktor menarik *trailer* dan diasumsikan arah gaya FdB searah dengan bidang horisontal lintasan traktor ($Zr = Zf$) maka gaya tahanan dinamis pada roda belakang traktor dapat diperoleh dari persamaan sebagai berikut :

$$Rr = \frac{W(X - X_{cg}) + Fw \times (X - X1) + FdB \times Zf}{X} \quad (21)$$

Dimana :

Rr = Gaya tahanan dinamis roda belakang traktor (Kg)

Sedangkan gaya tahanan dinamis roda depan traktor dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Rf = \frac{(Fw \times X1) + (W \times X_{cg}) - (FdB \times Zr)}{X} \quad (22)$$

Dimana :

Rf = gaya tahanan dinamis roda depan traktor (kg)

Nilai perpindahan berat untuk roda depan dan belakang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta Rr = Rr - Rro \quad \dots\dots\dots(23)$$

$$\Delta Rf = Rf - Rfo \quad \dots\dots\dots(24)$$

Dimana :

ΔRr = berat yang dipindahkan ke roda belakang traktor (kg)

ΔRf = berat yang dipindahkan ke roda depan traktor (kg)

Hasil perhitungan dari contoh kasus di atas menunjukkan bahwa gaya tahanan dinamis traktor setelah pembebanan adalah sebagai berikut
 $R_f = 998.79 \text{ kg}$
 $R_r = 8521.21 \text{ kg}$

Sehingga nilai perpindahan berat (*weight transfer*) yang diperoleh adalah sebagai berikut :

$$\Delta R_f = 118.79 \text{ kg}$$
$$\Delta R_r = 3381.21 \text{ kg}$$

Pemakaian *weight transfer hitch* dapat meminimalkan efek pengangkatan roda depan traktor karena gaya tahanan tanah pada roda depan traktor masih bernilai positif. Nilai positif dari gaya tahanan roda depan membuktikan bahwa sistem *gandeng weight transfer* terbukti efektif untuk mencegah efek pengangkatan roda depan traktor.

3. Kestabilan pengendalian traktor

Kestabilan pengendalian traktor berhubungan erat dengan distribusi beban gaya pada masing-masing roda traktor, letak titik berat vertikal *trailer* dan sudut kritis maksimal traktor dan *trailer*.

Pada proses transportasi dengan menggunakan *trailer* berporos tunggal akan mengakibatkan efek pengangkatan roda depan traktor. Penggunaan standar *drawbar* memberikan efek pengangkatan roda yang berlebihan. Letak standar *drawbar* yang berada di belakang poros roda belakang traktor akan memberikan efek pembebanan berlebihan pada roda belakang traktor dan efek pengurangan beban gaya yang berlebihan pada roda depan traktor. Fenomena yang terjadi adalah adanya efek pengangkatan roda depan traktor sehingga traktor tidak stabil dalam pengendaliannya, susah bermanuver dan mudah terguling.

Efek pengangkatan roda depan mampu diminimalkan dengan sistem *gandeng weight transfer*. Letak titik sambung yang berada didepan poros roda belakang traktor akan memberikan beban gaya aktual roda depan yang lebih besar dan beban gaya aktual roda belakang yang lebih kecil. Namun penempatan titik *gandeng* juga tidak boleh sembarangan yang justru akan mengganggu jalannya proses transportasi.

KESIMPULAN

Sistem *gandeng* dengan *weight transfer* terbukti lebih efektif dalam menjaga kestabilan traktor dan *trailer*. Sistem *gandeng* ini mampu meminimalkan efek pengangkatan roda traktor yang disebabkan karena

pembebanan trailer. Disisi lain sistem ini juga berdampak positif terhadap traksi yang dihasilkan oleh traktor. Perpindahan berat dari trailer ke traktor akan mengakibatkan penambahan beban pada roda belakang traktor yang berarti menambah daya traksi dari traktor.

Simulasi dengan menggunakan traktor Ford New Holland yang dirangkai dengan trailer angkut yang digunakan PT. GPM diperoleh hasil perhitungan sebagai berikut :

1. Perpindahan beban gaya dalam keadaan statis sebesar 3379.31 kg untuk roda belakang traktor dan 120.68 kg untuk roda depan traktor
2. Perpindahan beban gaya dalam keadaan dinamis sebesar 3381.21 kg untuk roda belakang traktor dan 118.79 kg untuk roda depan traktor.
3. Letak titik berat trailer pada sumbu horisontal adalah 174.8 cm dari poros roda belakang traktor. Sedangkan letak titik berat vertikal adalah 153.74 cm dari permukaan tanah dengan sudut kritis kemiringan lahan sebesar 45.26° .
4. *Ground pressure* yang dihasilkan setelah pembebanan pada trailer adalah 2.8 kg/cm^2 dan 2.44 kg/cm^2 untuk roda belakang traktor dan 0.34 kg/cm^2 untuk roda depan traktor. Hal ini berarti masih berlebihan dari batas pemadatan tanah yang ideal sebesar 1.84 kg/cm^2 untuk tanaman tebu pada lahan kering (Muleenar, 1990)

Optimasi letak titik berat traktor dan trailer dengan sistem *weight transfer* dengan bantuan pemograman komputer sangat membantu dalam menyederhanakan permasalahan desain. Beberapa keunggulan yang didapatkan antara lain :

1. Proses desain yang relatif mudah dan cepat dilakukan
2. Koreksi dan validasi nilai-nilai batas desain yang dapat dilakukan setiap saat
3. Modifikasi cara desain dapat dilakukan setiap saat.

SARAN

Penelitian ini masih membutuhkan banyak penyempurnaan antara lain dengan penambahan kriteria-kriteria desain yang bisa diberikan tanpa harus melakukan percobaan-percobaan, seperti perhitungan *rolling resistance*, traksi dan *drawbar pull* yang tepat.

Program simulasi ini hendaknya dilakukan oleh administrator yang sudah paham dengan permasalahan desain traktor dan trailer. Penambahan visualisasi objek perancangan hendaknya juga ditambahkan sehingga kesalahan persepsi desain dapat dihindari.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcock, R. 1986. *Tractor Implements System*. Avi Publishing. New York
- Alam, Agus J. 1999. *Microsoft Visual Basic 6.0*. Elex Media Komputindo. Jakarta
- Armansyah. 2002. *Analisis Tahanan Gelinding (Rolling Resistance) Roda Traksi dengan Metode Uji Roda Tunggal pada Bak Tanah (Soil Bin)*. Skripsi. IPB.
- Barger, E.L. , W.M Carletton, E.G. McKibben and Roy Bainer. 1958. *Tractors and Their Power Units*. John Willey & Sons, Inc. New York
- Culpin, C. 1969. *Farm Machinery*. Crosby Lockwood & Sons, Ltd. London
- Goering E. Carol. 1989. *Engine and Tractor Power*. PWS Publisher. Boston, Massachussets
- Herodian, Sam. 1986. *Study Teknis Penggunaan Gandengan (Trailer) di Pabrik Gula Bunga Mayang Lampung Utara*. Skripsi. IPB
- Hunt, D. 1977. *Farm Power and Machinery Management*. The Iowa State University Press. USA
- Kuncoro, A. 2002. *Aspek Alat dan Mesin Panen Tebu di PT. GMP Lampung. PL. Fateta*. IPB
- Kusumo, Aryo S. 2000. *Buku Latihan Microsoft Visual Basic 6.0*. Elex Media Komputindo. Jakarta
- Liljedahl, J.B., Paul K.T., Makoto Hoko and David Smith. 1989. *Tractor and Its Power Units*. Avi Book Pub. New York.
- McLean, W.G., E.W Nelson and A.H Bassim. 1987. *Theory an Problems of Engineering Mechanics*. McGraw-Hill Book Co. Singapore
- Muleenar, R. 1990. *Studi Pemadatan Tanah Akibat Lintasan Mesin Budidaya Tebu pada Lahan Kering*. Tesis. IPB
- Nurrohman, S. 2002. *Analisis Teknis Penggunaan Weight transfer Pada Trailer Di PT. Sweet Indo Lampung*. Skripsi. IPB
- Oida, A. 1992. *Terramechanics*. Departement of Agricultural Engineering Faculty of Agricultural, Kyoto University, Japan
- Srivastava, K, Carrol E. Goering, Roger P.R.1993. *Engineering Principles of Agricultural Machine*. ASAE Text Book Number:6. ASAE.
- Taha, A.H. 1993. *Operations Researh*. Departement of Industrial Engineering. University of Arkansas, Fayetteville.
- Thiterringthon and J.G Rimmer. 1969. *Applied Mechanics*. McGraw-Hill Book Co. Ltd. London