

KONFIGURASI SISTEM KEMUDI DAN PENGGERAK KENDARAAN TRAKTOR PERTANIAN DALAM BERBAGAI ARAH GERAK

Leo Soemardji & Mustofa

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Tadulako

Jl. Sukarno-Hatta Km.9 Tondo, Palu 94119

Email: leowulantikapalu@gmail.com

Abstract

This study aims to describe and show the configuration of the integration between the steering system on both front wheel drive system and the controller at the rear wheels on the vehicle type agricultural tractors. The system comprises four tractor steering wheel. Model analysis of the movement of the system displayed good mathematical equation model moves toward forward, rewind and play with various configurations. Further analysis was performed in Matlab program that makes it easy to see variations of the steering angle, wheel speed drive and motion of different models using the specific parameters that correspond to the size of one type of agricultural tractors. The ability to move the steering wheel in different directions and the steering wheel angle greatly affect the ability of the tractor to resist external forces that occur when the through road, especially elevation and slippery. This analytical model can be developed for other types of agricultural vehicles, such as lawn mowers and off-road vehicles.

Keyword: *steerable wheels, driven-wheels and motion model*

PENDAHULUAN

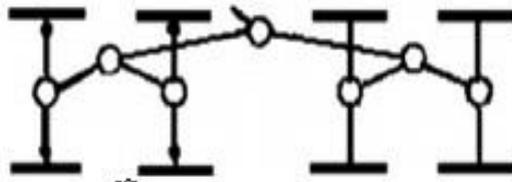
Prinsip kerja system kemudi sebagai pengarah roda pada kendaraan untuk bergerak, berbeda antara satu jenis dengan jenis kendaraan lainnya. Umumnya dikenal dengan penggerak roda depan (*front wheel drive*) dan penggerak roda belakang (*rear wheel drive*). Penggerak roda depan digunakan pada kendaraan type mini-bus seperti Avanza-Xenia, Avelia dan APV. Sementara mobil-mobil truk dan *off-road cars* (mobil penjelajah) memakai penggerak roda belakang, sehingga lebih cocok beroperasi pada kondisi jalan yang berelevasi dan basah dengan torsi yang lebih besar yang dimilikinya.

Pada jenis kendaraan pertanian seperti traktor dan mesin pemotong yang juga termasuk jenis kendaraan penggerak roda belakang mempunyai keunikan tersendiri. Roda belakang bagian kiri dan kanan bisa berputar

dengan kecepatan yang sama meski dengan arah berlawanan atau dikenal dengan istilah penggerak roda belakang secara bebas satu sama lain (*independent drive system*). Pada kondisi ini kendaraan bisa berputar pada nol radius atau berputar dengan mengandalkan pada poros kemudi satu roda depan. Mekanisme kerja traktor terdiri dari dua roda penggerak dan empat roda penggerak. Kali ini yang akan dibahas lebih detail adalah pada mekanisme dua roda penggerak bagian belakang. Roda depan terdiri dari mekanisme yang bekerja sebagai roda kemudi pengganti kastor, berfungsi baik pada jalan rata. Kelemahan kastor jika melintasi lereng curam, roda depan tidak dapat memberikan gaya menyamping sehingga kendaraan cenderung bergerak menuruni lereng akibat gravitasi yang bekerja pada kendaraan, dimana pusat gravitasi secara substansial bergerak maju dari

garis pusat roda kemudi. Kastor ini yang bisa mengontrol roda depan untuk kembali ke posisi lurus garis vertikal dilihat dari pandangan samping roda, setelah terjadi defleksi positif atau negatif roda. Mekanisme kerja roda kemudi depan bersesuaian dengan kecepatan putar roda

Secara umum pada kendaraan, jika sistem kemudi diputar, steering coulum akan meneruskan tenaga putarnya ke gigi pengarah (*steering gear*). Gigi pengarah akan memperbesar gaya putar untuk menghasilkan momen yang lebih besar sebagai penggerak roda depan melalui batang penghubung kemudi (*steering linkage*). Type sistem kemudi sangat seperti pada Gambar 1 dengan pemodelan matematis.



Gambar 1. Sistem kemudi 8 x 8

Pada sistem ini terdapat satuan pembagi daya (*power-dividing unit*) disingkat PDU yang nilainya ditentukan dengan formula jumlah roda dikurangi satu. Jadi jumlah roda 8 dikurangi 1 sama dengan 7 PDU dengan catatan 1 masukan 2 keluaran yang posisinya pada rangkaian kemudi sesudah transmisi. PDU mencakup reduksi roda gigi pada poros. Pada Gambar 1, jumlah PDU ditunjukkan dengan bentuk lingkaran-lingkaran polos di antara roda. PDU ini yang bekerja mendistribusikan daya secara merata ke roda-roda sehingga kendaraan bergerak stabil. Sayangnya, simulasi hasil penelitian ini hanya menunjukkan satu arah kendaraan, yaitu lurus ke depan.

belakang. Pada tulisan ini bertujuan untuk melihat kesesuaian geometri sudut kemudi roda-roda depan dengan kecepatan putar roda-roda penggerak bagian belakang pada kendaraan traktor pertanian dalam bentuk persamaan matematika.

ditentukan dari model mobil, dari segi sistem pemindah daya, suspensi dan penggunaan mobilnya, Anonim (2010). Artikel ini menggambarkan mekanisme sistem kemudi pada model traktor sebagai kendaraan pertanian.

Vantsevich (2007) yang telah mengulas besaran energi bahan bakar dan kinerja traksi system kemudi pada kendaraan roda banyak jenis 8 x 8

Jaya dan Suhardjono (2006) menampilkan hasil pengujian *balancing* untuk menghitung prosentasi unjuk kerja keseimbangan roda kendaraan akibat berat rodanya. Kesimpulannya, semakin berat roda kendaraan, semakin kecil prosentase *balancing*nya. Jadi roda dengan diameter (R) lebih kecil lebih seimbang dibandingkan yang lebih besar ($R_{13} > R_{14} > R_{15}$). Sayangnya, hasil pengujian ini tidak memperlihatkan bagaimana unjuk kerja keseimbangan roda jika arah berbelok ke kiri atau ke kanan.

Berbeda dengan referensi di atas, Besselink (2003) pada artikelnya memperlihatkan hasil simulasi dan eksperimen prototype kendaraan traktor dalam berbagai arah; lurus ke

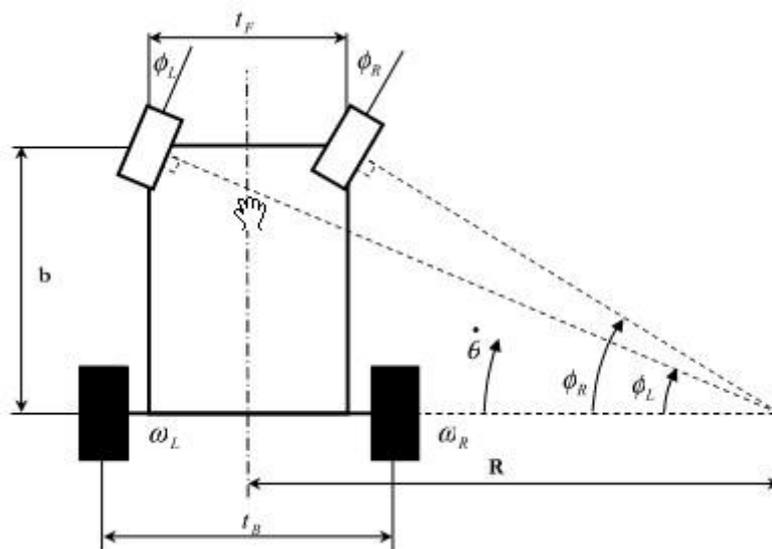
depan, maju belok kiri-kanan, mundur lurus dan arah mundur ke kiri atau ke kanan serta arah berputar. Yang menarik dari traktor pertanian ini dalam kemampuannya berputar searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam, dimana sudut dua roda depan bisa berbeda jauh satu sama lain. Gambar 3 sampai dengan 7 menunjukkan arah pergerakan traktor yang bisa dilakukan, termasuk

Model Matematika

Jenis traktor pada studi ini memiliki 2 roda penggerak (2WD-*two wheels drive*) posisi dibelakang dan 2 roda kemudi (2WS-*two wheels steering*) yang berada di depan. Roda penggerak bisa bergerak dengan putaran yang sama, tapi arah

bermanuver atau berputar. Pada studi ini, persamaan-persamaan matematis pada referensi Besselink (2003) akan divalidasi dengan parameter-parameter yang sesuai dengan jenis kendaraan type di atas. Sementara Besselink (2004) memodifikasi roda-roda depan dengan satu buah kastor pengganti roda kemudi secara eksperimental.

berlawanan. Ini diperlukan ketika kendaraan berputar pada radius 0 pada salah satu roda belakangnya dan perbedaan sudut yang besar antara ke 2 roda depannya. Secara matematis dirumuskan dari diagram benda bebas traktor pada Gambar 2.



Gambar 2. Geometri 2WD2WS, Besselink (2003, 2004)

Gambar 2 menampilkan geometri suatu kendaraan dengan system kemudi yang memiliki dua roda penggerak yang bisa bergerak bebas di bagian belakang (warna hitam semua) dan dua roda kemudi di depan yang bukan roda penggerak, dimana b adalah jarak roda depan dan belakang; t_F jarak sumbu kedua roda

depan; t_B jarak antara kedua roda belakang; R adalah radius perputaran kendaraan; ω_L dan ω_R masing-masing adalah kecepatan putar roda kiri dan kanan pada roda penggerak; ϕ_L dan ϕ_R adalah sudut belok roda depan kiri dan roda depan kanan. Diasumsikan bahwa diameter roda penggerak adalah sama.

Secara umum persamaan seperti yang di rumuskan oleh matematika dengan jarak $t_F \neq t_B$ Besselink (2003) sebagai berikut:

Untuk sudut roda kemudi kiri depan,

$$\varnothing_L = \tan^{-1} \left[\frac{2b(\omega_L - \omega_R)}{\omega_L(t_B + t_F) + \omega_R(t_B - t_F)} \right], \quad (1)$$

dengan cara yang sama untuk roda kemudi kanan depan,

$$\varnothing_R = \tan^{-1} \left[\frac{2b(\omega_L - \omega_R)}{\omega_L(t_B - t_F) + \omega_R(t_B + t_F)} \right], \quad (2)$$

Jika diasumsikan $t_F = t_B$, maka persamaannya menjadi:

$$\varnothing_L = \tan^{-1} \left[\frac{b}{t} \left(1 - \frac{\omega_R}{\omega_L} \right) \right], \quad (1a)$$

dan \varnothing_R menjadi,

$$\varnothing_R = \tan^{-1} \left[\frac{b}{t} \left(\frac{\omega_L}{\omega_R} - 1 \right) \right], \quad (2a)$$

Karena ke-2 roda kemudi depan yang bisa berbelok dengan besar sudut yang berbeda satu roda dengan roda lainnya, maka jika $t_F = 0$ persamaan sudut kemudi menjadi,

$$\varnothing = \tan^{-1} \left[\frac{2b(\omega_L - \omega_R)}{t_B(\omega_L + \omega_R)} \right], \quad (3)$$

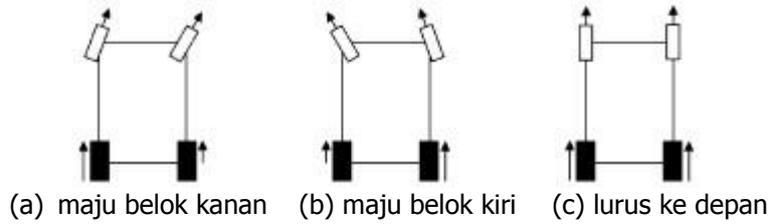
METODE STUDI

Selanjutnya akan dikembangkan hubungan matematis setiap arah pergerakan kendaraan dalam prakteknya sehari-hari untuk memperjelas studi ini. Gerakan memutar muncul ketika pusat lingkaran putar salah satu roda kemudi terletak atau antara pusat penggerak salah satu roda belakang.

Lebih jelas ada pada Gambar 5, 6 dan 7.

Bergerak Maju

Sesuai Gambar 2 di atas, kendaraan akan bergerak maju jika memenuhi syarat $\omega_L > 0$ dan $\omega_R > 0$, baik lurus ke depan atau maju sambil berbelok seperti pada Gambar 3 berikut,

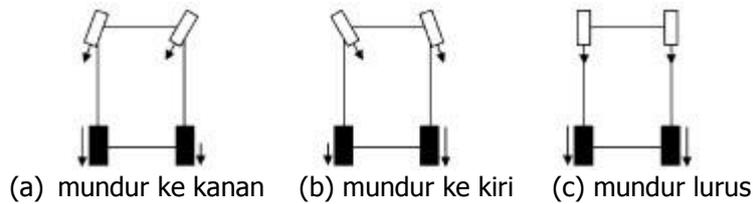


Gambar 3. Model gerak maju

Bergerak Mundur

Kendaraan akan mundur jika nilai $\omega_L < 0$ dan $\omega_R < 0$. Sementara akan mundur arah ke kiri jika $\omega_R < \omega_L < 0$ dan mundur ke kanan jika memenuhi syarat $\omega_L < \omega_R < 0$. Untuk bisa mundur

ke kanan, sudut kemudi (θ_L dan θ_R berada antara 0 dan 90°): -180° . Untuk mundur arah ke kiri sudut kemudi (θ_L dan θ_R berada antara 0 dan -90°): $+180^\circ$.

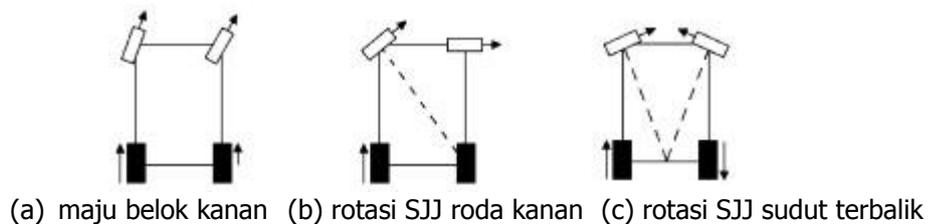


Gambar 4. Model gerak mundur

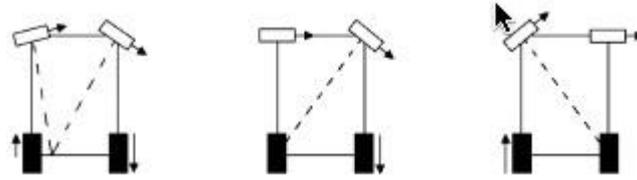
Bergerak Memutar

Merujuk ke geometri pada Gambar 2, kendaraan akan bergerak memutar searah jarum jam (SJJ) jika $\omega_L \geq 0$ dan $\omega_R \leq 0$ dengan $\omega_L \neq \omega_R$. Lebih jelas disajikan pada Gambar 5. Untuk menghasilkan konfigurasi yang diinginkan pada roda kemudi untuk bergerak memutar SJJ yang titik pusatnya antara dua roda kemudi seperti pada Gambar 6a akan terjadi

jika $\omega_L > 0$ dan $\omega_R < 0$, sementara sudut kemudi kanan θ_R , ditambah 180° . Selanjutnya rotasi terhadap sumbu vertical terjadi pada salah satu roda penggerak belakang. Dengan jelas θ_L akan bernilai 90° ketika $\omega_L = 0$ atau tidak berputar (Gambar 6b), Dengan analisis yang sama, rotasi arah berlawanan arah jarum jam (BJJ) dapat ditentukan sudut-sudutnya.

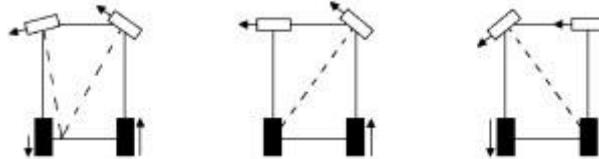


Gambar 5. Model meloncat menggunakan salah satu sudut kemudi



(a) rotasi antar 2-roda (b) rotasi roda kiri belakang (c) rotasi roda kanan belakang

Gambar 6. Model rotasi SJJ



(a) rotasi antar 2-roda (b) rotasi roda kiri belakang (c) rotasi roda kanan belakang

Gambar 7. Model rotasi BJJ

HASIL DAN DISKUSI

Diagram alir modifikasi sudut kemudi

Berikut ditampilkan contoh program perhitungan sudut kemudi untuk sudut roda penggerak tertentu.

```
%bersihkan layar
clc

%pengulangan tak terhingga sampai pengguna memilih keluar
while(1)

    %variabel pilihan diinisialisasi = 0
    op = 0;

    disp('Computer controlled steering system');
    disp('Pilihan :');
    disp('1. Sudut kemudi untuk roda penggerak kanan');
    disp('2. Sudut kemudi untuk roda penggerak kiri');
    disp('3. -reserved-');
    disp('4. -reserved-');
    disp('5. Keluar');

    while (op<1 || op>5)
        %cetak kosong ke layar untuk membuat spasi
        fprintf('\n');

        %masukkan nilai pilihan yang diinginkan pengguna
        op = input('Pilih operasi yang diinginkan : ');
    end

    %jika pilihan 5 maka program keluar
    if op==5, disp('Bye...'), break, end

    %jika pilihan 1,,,
```

```
if op==1
    %cetak kosong ke layar untuk membuat spasi
    fprintf('\n');

    %simpan nilai rotasi kecepatan (rotational velocity) untuk roda
    %penggerak kanan
    rotR = input('Masukkan sudut roda : ');

    %simpan nilai jarak roda (wheelbase)
    b = input('Masukkan nilai jarak roda (wheelbase) : ');

    %simpan nilai track
    t = input('Masukkan nilai trek (track) : ');

    %hitung sudut kemudi (steer angle)
    %jika rotR > 0
    if (rotR > 0)
        steerAngle = atan(b/t);

    %jika rotR < 0
    else
        steerAngle = atan(b/t) - 180;
    end

    %cetak hasil ke layar
    fprintf('Sudut kemudi adalah : %.5f\n\n', steerAngle);

%jika pilihan 2 , , ,
elseif pilihan

    %cetak kosong ke layar untuk membuat spasi
    fprintf('\n');

    %simpan nilai rotasi kecepatan (rotational velocity) untuk roda
    %penggerak kiri
    rotL = input('Masukkan sudut roda : ');

    %simpan nilai jarak roda (wheelbase)
    b = input('Masukkan nilai jarak roda (wheelbase) : ');

    %simpan nilai track
    t = input('Masukkan nilai trek (track) : ');

    %hitung sudut kemudi (steer angle)
    %jika rotL > 0
    if (rotL > 0)
        steerAngle = atan(-1 * (b/t));

    %jika rotL < 0
    else
        steerAngle = atan(-1 * (b/t)) + 180;
    end

    %cetak hasil ke layar
    fprintf('Sudut kemudi adalah : %.5f\n\n', steerAngle);
end
```

Diagram alir di atas menunjukkan bahwa dengan masukan kecepatan

roda penggerak dan parameter-parameter yang dibutuhkan, sudut

kemudi roda kiri dan atau roda depan dapat ditentukan baik gerak maju,

mundur dan memutar. Variasi sudut kemudi dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Sudut kemudi untuk berbagai arah pergerakan kendaraan

Arah Gerakan		Syarat Kecepatan Putar Roda Belakang	Sudut Kemudi		Lokasi Gambar
Maju		$\omega_L > 0 \quad \omega_R > 0$	Kiri, θ_L	Kanan, θ_R	
Mundur	Mundur ke kanan	$\omega_L < 0 \quad \omega_R < 0; \quad \omega_L < \omega_R$	$\theta_L - 180$	$\theta_R - 180$	Gbr. 4a
	Mundur ke kiri	$\omega_R < 0 \quad \omega_L < 0; \quad \omega_L > \omega_R$	$\theta_L + 180$	$\theta_R + 180$	Gbr. 4b
	Mundur lurus	$\omega_R < 0 \quad \omega_L < 0; \quad \omega_L = \omega_R$	$\theta_L + 180$	$\theta_R + 180$	Gbr. 4c
Berputar SJJ	Dengan roda kiri	$\omega_R = 0 \quad \omega_L = 0$	90	$\tan^{-1}\left[-\frac{b}{t}\right] + 180$	Gbr. 6b
	Dengan roda kanan	$\omega_L > 0 \quad \omega_R = 0$	$\tan^{-1}\left[\frac{b}{t}\right]$	90	Gbr. 6c
Berputar BJJ	Dengan roda kiri	$\omega_L = 0 \quad \omega_R > 0$	-90	$\tan^{-1}\left[-\frac{b}{t}\right]$	Gbr. 7b
	Dengan roda kanan	$\omega_L < 0 \quad \omega_R = 0$	$\tan^{-1}\left[\frac{b}{t}\right] - 180$	-90	Gbr. 7c

Konfigurasi berbagai arah gerak, variasi sistem kemudi dan kecepatan roda-roda belakang sebagai penggerak kendaraan traktor dibutuhkan untuk meningkatkan proses bermanuver yang implikatif dalam menyelesaikan jenis pekerjaan traktor. Penyesuaian sudut kemudi roda kiri dan kanan yang tepat pada bagian depan kendaraan memperlihatkan sebagai

variabel pendukung untuk mendapatkan kecepatan putar roda-roda penggerak.

Perubahan kecepatan putar roda belakang yang tidak diiringi dengan besarnya sudut kemudi pada roda depan akan mempengaruhi ketahanan traktor untuk beroperasi pada kondisi jalan yang variatif.

KESIMPULAN DAN SARAN

Konfigurasi dalam tulisan ini mengindikasikan bahwa sistem kemudi pada traktor pertanian memiliki pergerakan yang menghasilkan perpaduan gerakan roda kemudi dan roda penggerak yang sangat variatif. Dengan satu roda depan yang lebih besar sudut kemudinya baik ke kiri

atau ke kanan dibandingkan dengan sudut kemudi roda kanan, membuat kendaraan bisa berputar yang bergerak seperti kastor pada roda kursi putar. Untuk melihat efektivitas perpaduan pergerakan kedua roda itu diperlukan pengembangan software dengan model prototype yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2010, 'Bagian-bagian utama system kemudi', diakses tanggal 13 Juni 2012 di Internet
<http://live-otomotif.blogspot.com>
- Besselink, B.C., 2003, Computer controlled steering systems for vehicles having two independently driven wheels, *Journal of Computer and Electronics in Agriculture*, Vol. 39, Issue 3, page 209-226, University of South Australia, Mawson lakes, Australia.
- Besselink, B.C., 2004, Development of a vehicle to study the tractive performance of integrated steering-drive system, *Journal of Terramechanics*, Vol. 41, Issue 4, page 187-198, University of South Australia, Mawson lakes, Australia.
- Garrett, T.K., Newton, K., & Steeds, W., 2000, *Motor Vehicle*, page 1043-1084, Science Direct.
- Jaya, H.S., & Suhardjono, 'Studi Eksperimental Pengaruh Berat Roda Pada Prosentase Unjuk Kerja Balancing Roda Mobil', diakses tanggal 17 Juni 2012 di Internet:
digilib.its.ac.id/public/ITS-Master-13680-Paper-447110.pdf
- Vantsevich, V.V., 2007, Multi-wheel drive vehicle energy/fuel efficiency and traction performance: Objective function analysis, *Journal of Terramechanics*, Vol. 44, page 239-253, Lawrence Technological University, Southfield.