

SISTEM PENGENDALI KEMUDI TRAKTOR OTOMATIS EMPAT RODA PADA PENGUJIAN LINTASAN LURUS

Tracking Control System of Autonomous Four Wheel Tractor on Straight Path

Setya Permana Sutisna¹, I Dewa Made Subrata², Radite Praeko Agus Setiawan²

¹Program Studi Teknik Mesin Petanian dan Pangan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor,
Jl. Raya Darmaga Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

²Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor,
Jl. Raya Darmaga Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

Email: setperna@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan traktor otomatis. Meskipun penelitian mengenai traktor otomatis telah banyak dilakukan, namun pengembangan masih terus dilakukan untuk mendapatkan presisi yang lebih tinggi dan metode yang optimal. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem pengendali kemudi traktor agar dapat mengikuti jalur kerja lintasan lurus ketika melakukan kegiatan pengolahan tanah. Model yang dikembangkan harus mampu menghitung sudut setir koreksi dari posisi traktor agar traktor mampu berjalan pada lintasan lurus yang telah ditentukan. Arah pergerakan traktor diketahui dari perbandingan dua posisi traktor yang diperoleh dari RTK DGPS. Algoritma pengendalian terdiri dari susunan perintah-perintah untuk mengendalikan traktor bergerak mengikuti lintasan acuan. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan algoritma yang telah dibuat untuk mengendalikan traktor agar dapat berjalan mengikuti lintasan acuan. Kemampuan algoritma tersebut kemudian diuji dalam kondisi riil dilapangan pada lintasan lurus sepanjang 30 m dengan kecepatan traktor 0.5 m/s. Hasil pengujian di lapangan diperoleh tingkat akurasi kinerja kontrol sebesar 97.13% dan besar simpangan rata-rata terhadap lintasan acuan sebesar 8.62 cm.

Kata kunci: Traktor otomatis, sistem pengendali kemudi, pengolahan tanah

ABSTRACT

This research is the development of autonomous tractor. Although research for automatic tractor have been carried out, but it is still developed to get more precision and optimal method. The purpose of this research is to develop a trajectory control system tractor to follow a straight-line when the working soil tillage. Model that was developed to be able calculate steering angle correction of the tractor position so that the tractor will run on a reference trajectory. Tractor position is determined from RTK DGPS. Tractor direction is calculated from two position of tractor. Control algorithm consists of the arrangement of commands to control the tractor move the reference trajectory. Simulations were performed to determine controlling algorithm ability the tractor to follow reference trajectory. The algorithm ability is tested in real conditions on a straight- line path along 30 m with a speed of tractor 0.5 m/s in a field. The test results obtained in the field of performance accuracy rate is 97.13% control and average deviation with reference trajectory is 8.62 cm.

Keywords: Autonomous tractor, tracking control system, soil tillage

PENDAHULUAN

Otomatisasi pengoperasian traktor telah berkembang pesat sejak beberapa tahun terakhir. Penelitian umumnya dilakukan oleh negara-negara maju seperti USA, Japan,

Swedia, dan negara maju lainnya sebagai upaya untuk mengatasi kelangkaan tenaga kerja di bidang pertanian. Potensi keuntungan traktor otomatis yaitu dapat meningkatkan produktivitas, akurasi, efisiensi, dan keamanan operator (Scarlet, 2001). Perkembangan bidang elektronik, komputer,

dan teknologi komputasi menjadi inspirasi peneliti untuk mengembangkan traktor otomatis. Traktor otomatis saat ini menjadi salah satu hal yang penting dalam pertanian presisi.

Banyak faktor yang menjadi hambatan dalam pengendalian traktor otomatis (Ming Li dkk., 2009), seperti wilayah kerja yang sangat luas, permukaan tanah tidak rata maupun datar, slip roda, serta tergantung pada operasi kerja atau implemen. Faktor tersebut membuat pengendalian traktor otomatis menjadi sulit. Hal ini menurunkan akurasi kinerja sistem pengendalian traktor otomatis.

Pengembangan traktor otomatis di Indonesia khususnya di IPB telah dilakukan beberapa penelitian. Penelitian (Desrial dkk., 2010) telah berhasil mengembangkan algoritma pemrograman dan sistem navigasi GPS yang telah dapat bekerja dengan baik dan memberikan informasi arah yang tepat mengikuti jalur koordinat yang ditetapkan. Informasi navigasi yang dihasilkan digunakan sebagai penuntun operator sehingga traktor bergerak mengikuti jalur koordinat yang telah ditetapkan. Namun, pada penelitian ini traktor masih dioperasikan oleh operator berdasarkan informasi sistem navigasi. Otomatisasi kemudi traktor mini 4 roda dengan bahasa pemrograman LabView berhasil dilakukan oleh Annas (2012). Sensor navigasi berupa RTK DGPS yang menggunakan sistem NTRIP (*Networked Transport of Radio technical commission for maritime service via Internet Protocol*). Sistem NTRIP tersebut membutuhkan koneksi ke jaringan internet menggunakan jaringan GPRS kartu GSM. Kelemahan sistem tersebut yaitu sangat tergantung pada jaringan operator GSM yang jangkauan dan kekuatan sinyal terbatas. Bintarjo (2012) mengembangkan pengendalian kemudi traktor jarak jauh secara nirkabel menggunakan *wireless gamepad interface*. Operator harus mengendalikan traktor dari pinggir lahan karena tidak dilengkapi sensor navigasi sehingga posisi traktor tidak dapat diketahui tanpa dilihat secara langsung. Jangkauan pengendali jarak jauh terbatas maksimum 100 m. Rahman (2013) melanjutkan penelitian Desrial dkk. (2010) dengan membuat rancang bangun sistem kemudi otomatis traktor pertanian. Beberapa bagian tuas kemudi yang dikendalikan yaitu setir, kopling, akselerasi, dan tuas implemen. Traktor dapat bergerak secara otomatis mengikuti lintasan acuan tanpa dikendalikan operator. Orientasi traktor ditentukan dari dua titik posisi traktor. Kelemahan metode ini yaitu penentuan orientasi akan menjadi kurang tepat ketika pesan pengiriman data GPS tidak dapat diolah oleh komputer, sehingga untuk menggunakan metode orientasi tersebut perlu ditambahkan perhitungan untuk memprediksi posisi traktor. Hasil pengujian traktor pada lintasan lurus menghasilkan simpangan rata-rata 12 cm.

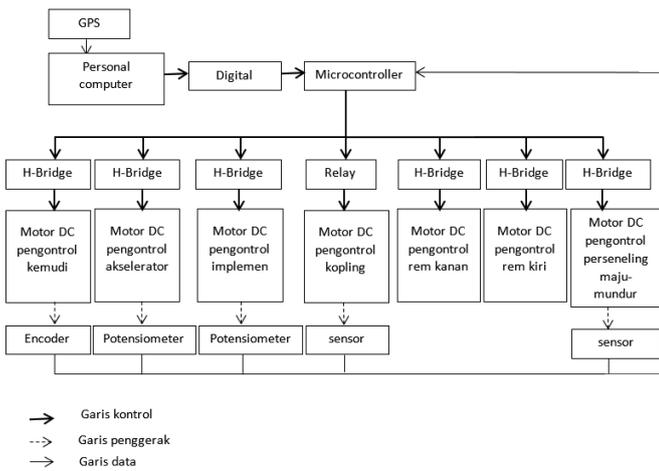
Pengembangan traktor otomatis terus dilakukan agar didapatkan traktor yang lebih presisi, meskipun penelitian mengenai traktor otomatis telah menghasilkan traktor yang

dapat berjalan sendiri tanpa operator, Pergerakan traktor otomatis dalam pengolahan tanah harus dikendalikan secara presisi dan akurasi yang tinggi agar tidak ada tanah yang tidak terolah dan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan operator. Penelitian ini melanjutkan penelitian Rahman (2013) untuk mengembangkan sistem pengendali lintasan kemudi traktor agar dapat mengikuti jalur kerja lintasan lurus. Pengembangan yang dilakukan agar diperoleh simpangan yang lebih kecil dan pemodelan yang dapat digunakan untuk memprediksi posisi traktor. Keunggulan penelitian ini dibandingkan penelitian sebelumnya yaitu algoritma yang dibuat, mampu menggerakkan traktor pada jalur yang tepat walaupun berada posisi awal yang cukup jauh dari jalur lintasan acuan. Pengujian dilapangan dilakukan untuk mengetahui ketepatan traktor dalam mengikuti lintasan yang telah dibuat dan menguji model prediksi dengan membandingkan hasil simulasi dan pengujian riil dilapangan.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem pengendali kemudi traktor agar dapat mengikuti jalur kerja lintasan lurus ketika melakukan kegiatan pengolahan tanah. Melalui pengembangan sistem pengendali kemudi traktor akan dihasilkan traktor yang dapat berjalan sendiri tanpa operator dengan tingkat akurasi yang tinggi. Traktor otomatis diharapkan mampu mendukung kegiatan pertanian presisi (*precision farming*). Selain itu, traktor otomatis juga diharapkan dapat menjadi solusi masalah tenaga kerja di masa yang akan datang. Pengembangan traktor otomatis merupakan suatu kemajuan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi yang meringankan pekerjaan manusia.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan traktor empat roda 45 HP yang telah dimodifikasi menjadi traktor otomatis. Traktor otomatis yang digunakan dilengkapi dengan pengendali tuas-tuas kemudi. Pengendali tuas kemudi yang ada, antarlain pengendali kemudi/setir, pengendali tuas akselerator, pengendali tuas implemen, pengendali tuas kopling, pengendali tuas rem, dan pengendali tuas transmisi maju-mundur. Alat yang digunakan untuk sistem pengendalian yaitu *rotary encoder* tipe absolut dengan resolusi 360 *pulse*/putaran, potensiometer linier 5k ohm, motor DC 12 Volt, EMS 30A *H-Bridge*, kabel, *microcontroller* tipe DT-AVR ATmega128, RTK-DGPS dengan tingkat keakuratan 3-5 cm. *Rotary encoder* digunakan untuk mengetahui posisi sudut setir yang membutuhkan pengendalian dengan akurasi tinggi. Potensiometer digunakan untuk mengetahui psosis sudut pengendali dengan akurasi sedang, yaitu pada pengendali akselerasi dan tinggi implemen. Motor DC berfungsi sebagai sumber tenaga



Gambar 1. Sistem pengendalian traktor otomatis

penggerak untuk menggerakkan tuas-tuas kemudi yang dikendalikan. Arah gerakan motor DC agar dapat berputar searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam diatur oleh EMS 30A H-Bridge. Alat untuk penyusunan pemrograman untuk pembuatan algoritma sistem kendali adalah *personal computer* (laptop) dengan *software* microsoft Visual Basic 6.0 dan *Code Vision AVR*. *Software* Visual Basic 6.0 digunakan untuk mengolah data GPS sehingga menghasilkan perintah gerakan traktor. Selain itu, Visual Basic 6.0 juga digunakan sebagai *interface* status traktor otomatis selama bergerak *Code Vision AVR* berfungsi untuk penyusunan program pengendalian dan fungsi gerak masing-masing unit pengendali gerak tuas kemudi yang diunggah kedalam *microcontroller*. Alat yang digunakan untuk pengujian terdiri dari meteran, patok, dan kamera video. Pengujian kondisi tanah menggunakan alat penetrometer, ring sampel, oven, dan timbangan digital. Percobaan aktual di lapang dilakukan untuk mencoba metode pengendalian lintasan kemudi traktor yang telah dibuat pada sebuah traktor otomatis.

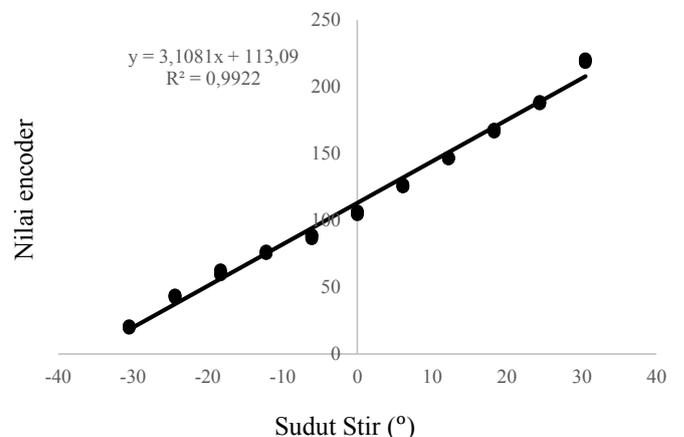
Sebuah traktor 45 HP dengan empat roda penggerak digunakan dalam percobaan ini. Bagian utama sistem kemudi traktor yang dikendalikan terdiri dari, tuas akselerasi, sudut setir, tuas pengangkat dan penurun implemen, tuas kopling, tuas transmisi untuk gerak maju dan mundur, dan tuas rem belok. Sistem navigasi sebagai penuntun posisi traktor digunakan *RTK DGPS Guidance and Mapping System* dengan pengesetan pengiriman data 5 Hz. Keunggulan RTK DGPS yaitu dapat menentukan posisi secara *real time* sehingga dapat menentukan arah pergerakan dan memiliki tingkat keakuratan antara 3 - 5 cm. Sistem RTK (*Real-Time-Kinematic*) adalah suatu akronim yang sudah umum digunakan untuk sistem penentuan posisi *real-time* secara differensial menggunakan data fase. Untuk merealisasikan tuntutan *real time*, stasiun referensi harus mengirimkan data fase dan *psedorange*-nya ke pengguna secara *real-time* menggunakan sistem komunikasi

data tertentu (Bell, 2000). Peralatan lain yang digunakan, yaitu *micro controller* DT-AVR ATmega 128 sebagai pengendali motor penggerak tuas sistem kemudi, komputer *laptop* untuk pemrosesan data dan *inteface*, serta sensor gerakan yang berfungsi sebagai pemantau pergerakan masing-masing tuas pada sistem kemudi. Beberapa gerakan tuas pada sistem kemudi yang dipantau yaitu setir dengan menggunakan *absolut rotary encoder* untuk mengetahui posisi sudut setir yang dibentuk, sensor tekan digunakan untuk memantau pergerakan kopling dan transmisi, dan potensiometer digunakan untuk memantau pergerakan tuas akselerasi dan tuas implemen. Gambar 1 menunjukkan diagram skematik sistem pengendalian traktor otomatis.

Sistem kontrol atau sistem pengendalian merupakan sekumpulan alur logika yang digunakan untuk mengendalikan, memerintah, dan mengatur keadaan dari seluruh sistem. Berdasarkan ada atau tidaknya umpan balik (*feedback*), Dorf (2005) membagi sistem kontrol menjadi dua jenis yaitu sistem kontrol kalang tertutup (*closed loop control system*) dan sistem kontrol kalang terbuka (*open loop control system*). Secara umum sistem kontrol kemudi setir yang digunakan adalah kalang tertutup yang sinyal keluarannya diumpangkan kembali ke masukan (koreksi) sehingga aksi pengontrolan selanjutnya dipengaruhi oleh nilai keluaran tersebut. Sistem kontrol pengendali kalang terbuka yang digunakan yaitu tipe *proportional control*. Fungsi sistem pengendali *proportional* mengikuti persamaan :

$$E_n = E_{n-1} + (\alpha_n - \alpha_{n-1}) \frac{1}{A} \dots\dots\dots (1)$$

Nilai E merupakan nilai encoder pada pengendali setir yang dibaca dari *absolut rotary encoder*. Nilai tersebut merupakan hasil penjumlahan terhadap nilai encoder sebelum dan beda sudut setir. Untuk mengetahui hubungan antara nilai encoder dan sudut setir yang dibentuk maka dilakukan proses kalibrasi. Dari proses kalibrasi diketahui bahwa



Gambar 2. Kalibrasi pengendali setir

terdapat hubungan linier antara sudut setir yang dibentuk dan nilai encoder. Kalibrasi pengendali kemudi dapat dilihat pada Gambar 2. Validasi algoritma pengendalian dilakukan melalui pengujian riil di lapangan.

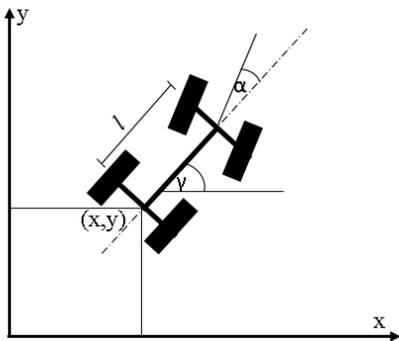
Sedangkan tuas pada sistem kemudi yang lain dikendalikan dengan menggunakan sistem kalang terbuka. Berdasarkan pada Gambar 1, komunikasi data terjadi antara komputer dan sensor navigasi untuk mengetahui posisi, juga komunikasi pada *microcontroller* dalam pengiriman perintah pergerakan pengendali tuas-tuas kemudi. *Layout* unit pengendali traktor otomatis dapat dilihat pada Gambar 3. Program pengolahan data GPS menjadi perintah pergerakan unit aktuator menggunakan pemrograman komputer Visual Basic 6.



Mekanisme pengereman dan pengendalian sudut setir menyebabkan traktor tidak dapat berputar pada titik pusat traktor sehingga saat berputar posisi traktor akan berubah yang disebut pergerakan *non-holonomic*. Kontrol gerak *non-holonomic* membutuhkan komputasi yang cukup rumit dibandingkan dengan gerak *holonomic* (Sutiarso dkk., 2001). Gambar 4 menunjukkan model kinematik kendaraan kemudi roda depan. Diasumsikan bahwa masing-masing roda berpindah dalam arah yang sama karena umumnya traktor berjalan lambat dan diasumsikan traktor berjalan pada area datar. Berdasarkan hubungan geometri, diperoleh persamaan:

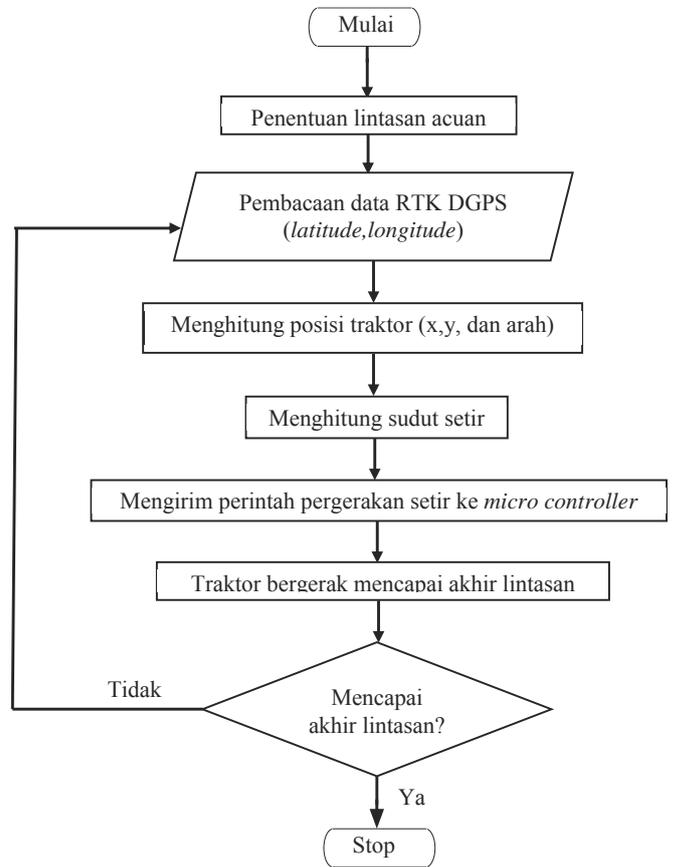
$$V \cos \gamma, \dot{y} = V \sin \gamma, \dot{\gamma} = V \tan \alpha / l \dots\dots\dots (2)$$

$$x_0 + \int V \cos \gamma dt, y = y_0 + \int V \sin \gamma dt, \gamma = \int V \tan \alpha dt \dots (3)$$



Gambar 4. Model kinematik kendaraan kemudi roda depan

Traktor terus berjalan maju mulai dari titik awal sampai ke titik akhir mengikuti lintasan acuan. Algoritma navigasi pengendalian traktor mengikuti lintasan lurus dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Algoritma navigasi pengendalian traktor mengikuti lintasan lurus

Untuk mengarahkan traktor agar terus berada di lintasan acuan, setir digerakkan berdasarkan sudut setir (α). Sudut ditentukan berdasarkan simpangan posisi dan arah traktor dari yang seharusnya. *Oriref* adalah sudut orientasi lintasan yang menjadi referensi arah jalan traktor (γ). Untuk menghitung penentuan sudut setir yang diberikan terhadap simpangan dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\alpha = \frac{1}{2}(\Delta oritraktor + ori) \dots\dots\dots (4)$$

$$\gamma = \tan^{-1} \left| \frac{(y_t - y_{t-1})}{(x_t - x_{t-1})} \right| \times \frac{180}{\pi} \dots\dots\dots (5)$$

$$oriref = \tan^{-1} \left| \frac{(y_{akhir} - y_{mulai})}{(x_{akhir} - x_{mulai})} \right| \times \frac{180}{\pi} \dots\dots\dots (6)$$

$$\Delta oritraktor = (oriref - \gamma) \dots\dots\dots (7)$$

$$referensi_t = \frac{y_t}{\tan(\gamma)} + x_{mulai} \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{simpangan} = |x_t - \text{referensi}_t| \times \left| \sin \frac{\text{ori}_{\text{ref}} \times \pi}{180} \right| \dots\dots (9)$$

$$\text{ori} = \text{simpangan} \times \frac{30}{1.5} \dots\dots\dots (10)$$

Proses simulasi dilakukan untuk mengetahui perkiraan gerakan traktor dalam mengikuti lintasan acuan. Posisi (x,y) dan orientasi () traktor selama pergerakan simulasi dihitung dengan menggunakan Persamaan 3. Penentuan sudut setir () dihitung dengan menggunakan Persamaan 4. Pada pengujian dilapangan posisi (x,y) traktor diperoleh dari pembacaan data GPS dengan sudut orientasi traktor () dihitung dengan menggunakan Persamaan 5.

Pembacaan data GPS memberikan informasi posisi dalam bentuk derajat bujur (*longitude*) dan lintang (*latitude*). Pada penggunaan di lapangan, koordinat tersebut harus ditransformasikan menjadi koordinat kartesian x dan y. UTM (*Universal Transverse Mercator*) merupakan sebuah sistem yang menggunakan koordinat kartesian dua dimensi untuk memetakan posisi di permukaan bumi (Snyder, 1987). Pada pengolahan data, derajat bujur dan lintang dikonversi menjadi koordinat kartesian x dan y dengan menggunakan Persamaan 11 dan 12 (Srivastava dkk., 2006) :

$$x - x_o = K_x(lon - lon_o) \dots\dots\dots (11)$$

$$y - y_o = K_y(lat - lat_o) \dots\dots\dots (12)$$

di mana

Δx = delta posisi dalam bidang x (m)

Δy = delta posisi dalam bidang y (m)

$$K_x = \frac{a \cos(lon_o)}{[1 - e^2 \sin^2(lon_o)]^{0.5}}$$

$$K_o = \frac{a(1 - e^2)}{[1 - e^2 \sin^2(lon_o)]^{1.5}}$$

a = equatorial radius = 6378135 m

b = polar radius = 6356750 m

Pengujian dilakukan dengan dua kondisi, yaitu pertama traktor digerakkan mengikuti lintasan acuan pada posisi awal segaris dengan lintasan dan kedua traktor diposisikan pada posisi awal 5 m disamping lintasan dan sejajar lintasan. Lintasan acuan traktor berbentuk garis lurus sepanjang 30 m yang dibentuk oleh dua titik, yaitu titik awal dan titik akhir. Traktor dijalankan pada kecepatan 0.5 m/s. Pengambilan data posisi GPS dilakukan dengan frekuensi 5 Hz. Data tersebut diolah dan diproses untuk menentukan perintah pergerakan setir ketika traktor sedang bergerak. Selain itu, data posisi traktor selama bergerak direkam dan disimpan ke dalam memori komputer untuk diplot dan dianalisis. Analisis dilakukan dengan menghitung simpangan posisi traktor terhadap lintasan acuan dan membandingkan hasil simulasi terhadap hasil pengujian di lapangan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

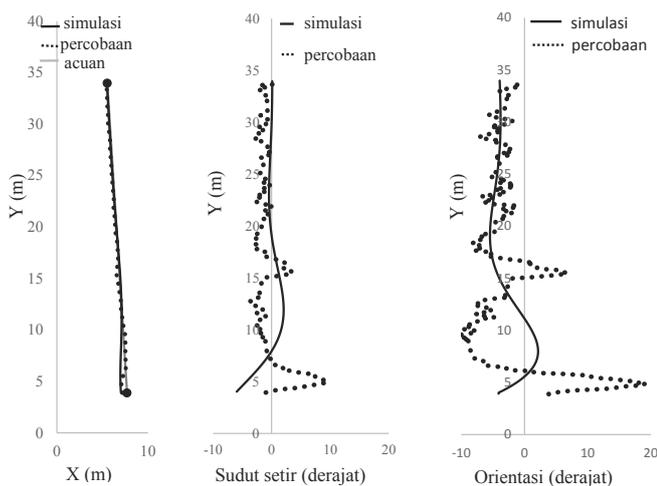
Algoritma pengendalian traktor yang telah dibuat terlebih dahulu disimulasikan dengan menggunakan komputer. Simulasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan algoritma yang telah dibuat untuk mengendalikan traktor agar dapat berjalan mengikuti lintasan acuan. Kemampuan algoritma tersebut kemudian diuji dalam kondisi riil dilapangan dengan menggunakan traktor otomatis. Lintasan acuan diset dari dua titik, yaitu titik awal dan titik akhir. Kedua titik dihubungkan sehingga membuat suatu garis lurus yang menjadi acuan gerak traktor. Panjang lintasan pengujian sejauh 30 m dengan kondisi kadar air tanah sebesar 19.88% pada kedalaman pengambilan sampel 0-5 cm. Traktor berjalan mengikuti garis acuan tersebut sehingga mencapai ujung lintasan.

Sistem kontrol kalang tertutup dengan menggunakan *feed back* yaitu hanya pada pengendali kemudi. Tuas sistem kemudi yang lain yaitu tuas kopling, rem, transmisi, dan akselerasi dikendalikan dengan sistem kontrol kalang terbuka. Sistem kontrol kalang terbuka hanya memerintahkan sekali pada unit penggerak untuk menuju suatu keadaan atau posisi tertentu. Proses pergerakan traktor bergerak maju dimulai dengan gerakan pengendali tuas kopling menggerakkan kopling ke posisi tertekan dan aktif. Setelah sensor mendeteksi posisi kopling dalam keadaan tertekan penuh kemudian pengendali tuas transmisi maju-mundur bergerak ke posisi maju. Sensor tuas transmisi memastikan bahwa tuas transmisi berada pada posisi yang tepat yaitu posisi maju sebelum mengirim perintah menggerakkan kopling pada posisi terangkat. Tuas kopling terangkat maka traktor akan bergerak maju dan pengendali tuas akselerasi digerakkan untuk menaikkan rpm mesin ke 2500 rpm. Selama traktor berjalan pengendali setir/kemudi bergerak terus menggerakkan setir sebesar sudut yang diperintahkan berdasarkan hasil perhitungan algoritma pengendalian sistem. Sedangkan tuas-tuas yang lain tetap pada posisi hasil gerakan saat traktor akan bergerak. Pengendalian setir terus dilakukan dengan sistem kontrol kalang tertutup agar traktor dapat berjalan mengikuti lintasan acuan yang telah ditentukan. Setelah mencapai ujung lintasan, pengendali akselerasi menggerakkan tuas akselerasi ke posisi 1100 rpm dan pengendali kopling menggerakkan kopling ke posisi tertekan sehingga traktor berhenti. Setelah sensor pengendali kopling mendeteksi kopling dalam keadaan tertekan, tuas transmisi digerakkan ke posisi netral.

Sebelum memulai pengujian, traktor terlebih dahulu diposisikan pada posisi awal lintasan. Penempatan traktor pada posisi titik awal sulit dilakukan, sehingga posisi awal traktor tidak persis sama dengan posisi awal lintasan seperti terlihat pada Gambar 6. Pada gambar 6 terlihat perbedaan jalur pergerakan antara simulasi dan pengujian lapangan, namun keduanya menunjukkan garfik pergerakan yang mirip. Hasil

tersebut menunjukkan bahwa algoritma yang dibuat mampu mengendalikan traktor mengikuti lintasan acuan yang telah ditetapkan. Rata-rata jarak perbedaan antara simulasi model dan pengujian lapang yaitu sebesar 13.4 cm atau dengan persentasi kesuksesan 97.13 %. Simpangan posisi traktor pada pengujian lapang terhadap lintasan acuan rata-rata sebesar 8.62 cm. Hasil ini lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya (Rahman, 2012) yang menghasilkan simpangan rata-rata 12 cm.

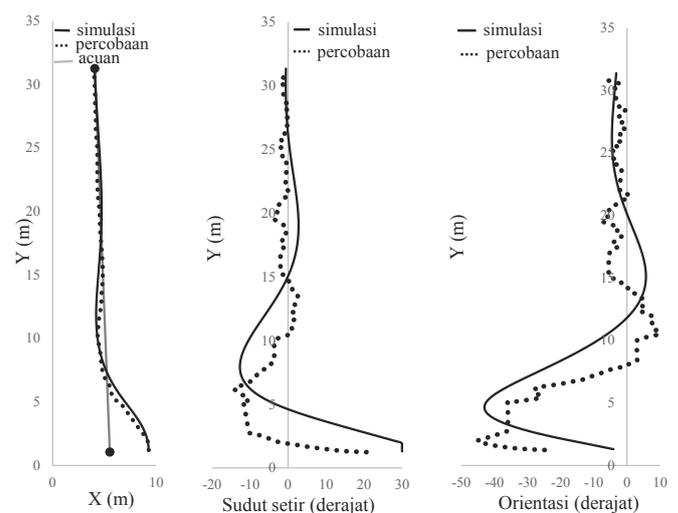
Sudut setir merupakan sudut yang dibentuk antara kemiringan roda depan terhadap baris sumbu traktor. Sudut positif terbentuk ketika roda mengarah ke kanan terhadap garis lurus orientasi (arah hadap) traktor dan sebaliknya sudut negatif terbentuk ketika roda mengarah ke kiri terhadap garis lurus orientasi traktor. Gambar 6 juga menunjukkan perbandingan posisi sudut setir selama traktor bergerak sepanjang lintasan acuan. Sudut setir pada pengujian lapang tidak membentuk garis yang halus karena roda terus bergerak-gerak. Walaupun sudut setir bergerak-gerak, secara umum terlihat bahwa mengikuti pola grafik sudut setir simulasi. Perbedaan ini disebabkan karena kontrol pergerakan setir menggunakan pengontrolan *on-off* sehingga jika diperintahkan untuk bergerak pada posisi yang diinginkan, maka setir akan digerakkan oleh kondisi tanah saat motor pada kondisi *off*. Hubungan antara sudut setir dan orientasi traktor menunjukkan bahwa semakin besar sudut setir yang dibentuk maka orientasi traktor akan semakin besar dan dengan arah yang sama. Hal ini berarti bahwa orientasi traktor dipengaruhi oleh sudut setir, namun demikian penentuan nilai koreksi sudut setir dipengaruhi oleh orientasi traktor.



Gambar 6. Pengujian pergerakan traktor lintasan lurus pada posisi awal segaris lintasan acuan

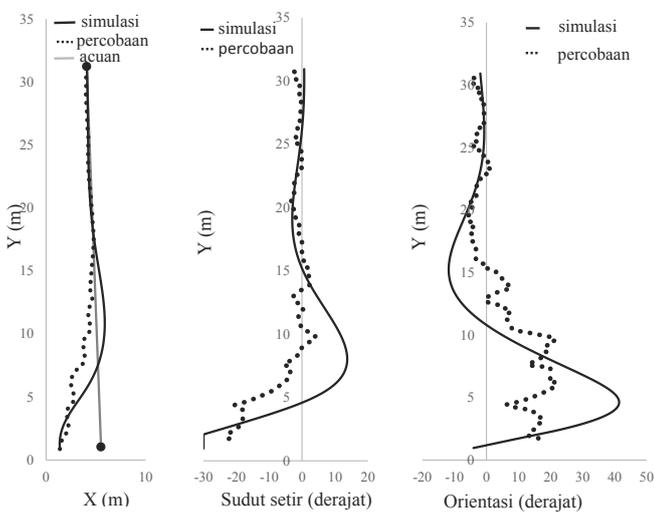
Pengujian lain dilakukan dengan menempatkan traktor pada posisi awal sejauh kurang lebih 5 m di kanan dan di kiri lintasan acuan. Uji ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana kemampuan traktor kembali pada jalur lintasan acuan ketika posisinya cukup jauh terhadap lintasan acuan. Pada Gambar 7 memperlihatkan jalur pergerakan traktor dari kanan lintasan acuan kembali pada lintasan acuan dan mengikuti lintasan tersebut menuju titik akhir lintasan. Posisi sudut setir dan orientasi traktor selama pergerakan menuju titik target dapat dilihat pada Gambar 7. Sudut setir selama pergerakan traktor saat pengujian hampir menyerupai sudut setir pada simulasi, namun terjadi keterlambatan pergerakan. Hal yang sama juga terjadi pada orientasi traktor, yang merupakan akibat dari pergerakan setir.

Keterlambatan ini disebabkan oleh *delay time* unit pengendali traktor untuk merespon pembacaan data (Sutiarso dkk., 2001). *Delay time* disebabkan oleh kebutuhan waktu semua unit pengendali membutuhkan waktu untuk menggerakkan tuas-tuas kemudi. Sebagian pengendali tuas dapat bergerak secara bersamaan, namun terdapat juga pengendali tuas yang saling menunggu dan tidak dapat digerakkan secara bersama. Pengendalian kopling dan tuas transmisi merupakan dua pengendali yang saling menunggu dengan total kebutuhan waktu kedua pengendali tuas ini sebesar 2 detik. Namun kedua pengendali tuas ini hanya berpengaruh pada awal memulai pergerakan traktor karena kedua tuas tersebut hanya digerakkan sebelum traktor mulai bergerak. Sedangkan selama traktor bergerak yang menjadi penentu traktor mengikuti lintasan yang benar yaitu pengendali setir. Untuk mencapai sudut setir yang ditargetkan dibutuhkan waktu rata-rata sebesar 1.4 detik.



Gambar 7. Pengujian pergerakan traktor dari posisi kanan sejajar lintasan acuan berjarak 5 m

Hasil yang berbeda ditunjukkan ketika pengujian dilakukan pada posisi awal kurang lebih 5 m di kiri lintasan acuan. Pada Gambar 8 memperlihatkan jalur pergerakan traktor menuju garis lintasan acuan yang bergerak dari kiri lintasan acuan. Dari grafik terlihat pola pergerakan pada awal lintasan sangat berbeda antara pengujian lapang dan hasil simulasi. Traktor bergerak perlahan mendekati lintasan acuan pada pengujian di lapangan sedangkan pada simulasi traktor bergerak lebih cepat menuju lintasan acuan. Walaupun pergerakan awal berbeda, namun keduanya mencapai lintasan acuan secara stabil pada posisi yang sama. Terlihat pada Gambar 8 bahwa sudut setir yang dibentuk di awal pergerakan pengujian lapangan lebih kecil dibandingkan sudut setir yang dibentuk dari hasil simulasi. Hal yang sama juga terlihat pada orientasi traktor pada Gambar 8.



Gambar 8. Pengujian pergerakan traktor dari posisi kiri sejajar lintasan acuan berjarak 5 m

Pada simulasi diasumsikan bahwa lintasan pengujian berupa permukaan yang rata, tidak terjadi slip roda, arah orientasi traktor menunjukkan arah yang benar, dan unit penggerak (aktuator) bekerja dengan baik. Kenyataan kondisi saat percobaan di lapangan tidak sama persis dengan yang diasumsikan dalam simulasi. Pengujian dilakukan pada lahan tanah dengan permukaan yang tidak rata, namun berada pada wilayah datar. Perbedaan kondisi lahan pengujian dengan asumsi memberi pengaruh besar terhadap perbedaan hasil simulasi dan pengujian.

Kondisi tanah yang kering dan tanpa beban implemen menyebabkan slip roda yang terjadi kecil, sehingga tidak terlalu berpengaruh. Arah orientasi dalam penelitian ini yaitu dengan membandingkan dua titik pengukuran posisi traktor dan tidak digunakan *geomagnetic sensor*. Perbandingan dua titik koordinat posisi dapat dijadikan penentuan arah orientasi traktor, namun hasil pengukuran ini mempunyai

tingkat ketelitian yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan *geomagnetic sensor*. Nagasaka (2004) menggunakan FOG (*Fiber Optic Gyroscope*) yang memiliki kemampuan mendeteksi sudut dalam tiga koordinat, yaitu *yaw*, *roll*, dan *pitch angle*. Keunggulan penggunaan gyroscope yaitu mampu mengetahui orientasi traktor dengan akurat dan dapat digunakan untuk mengkoreksi data GPS. Keakuratan RTK DGPS dalam menentukan posisi dapat menyebabkan kesalahan ketika traktor berada dalam posisi miring sehingga dalam posisi tersebut perlu untuk mengkoreksi koordinat posisi GPS.

Kesalahan dalam penentuan orientasi juga dapat terjadi karena di saat-saat tertentu data koordinat yang dikirim oleh GPS dibaca tidak utuh (tidak lengkap) oleh komputer. Algoritma pengolahan data GPS belum dilengkapi kemampuan mengolah data koordinat yang terpotong, sehingga akan melewati dan menunggu data berikutnya. Hasil simulasi model dan pengujian di lapangan menunjukkan bahwa model yang dikembangkan dapat digunakan untuk memprediksi posisi traktor ketika data yang dikirim GPS tidak lengkap.

KESIMPULAN

Pengembangan sistem pengendali lintasan kemudi traktor otomatis telah berhasil dilakukan. Algoritma pengendali lintasan lurus mampu mengendalikan traktor mengikuti lintasan acuan. Pengendalian tuas-tuas kemudi bekerja dengan baik dan sesuai dengan algoritma yang telah diprogramkan. Tuas-tuas kemudi bergerak sesuai dengan urutan gerakan yang telah ditentukan karena tidak semua tuas kemudi dapat digerakkan secara bersamaan. Gerakan tuas kopling dan tuas transmisi merupakan dua tuas kemudi yang bergerak saling tunggu. Hasil pengujian di lapangan menunjukkan hasil yang mendekati hasil simulasi. Rata-rata jarak perbedaan antara simulasi dan pengujian lapang sebesar 13.4 cm atau dengan presentasi kesuksesan 97.13 % untuk pengujian posisi traktor pada posisi segaris dengan lintasan acuan. Perhitungan simpangan menghasilkan simpangan traktor pada pengujian lapang memiliki simpangan rata-rata 8.62 cm. Pengujian dengan posisi awal sejauh 5 m di samping lintasan acuan menunjukkan bahwa traktor dapat kembali pada lintasan yang seharusnya baik pada simulasi maupun pengujian di lapangan.

SARAN

Algoritma pengolahan data GPS masih perlu dikembangkan untuk menyusun data GPS yang terpotong sehingga tidak ada lagi data yang tidak terolah. Penggunaan *geomagnetic sensor* perlu ditambahkan sehingga penentuan

orientasi traktor dapat menjadi lebih akurat. Faktor koreksi dapat ditambahkan pada algoritma pengendalian untuk mengoreksi *delay time* unit pengendali traktor untuk merespon pembacaan data. Kesalahan karena slip yang terjadi di permukaan tanah dapat dikurangi dengan penambahan roda bantu/roda gelinding yang berfungsi untuk mengetahui kecepatan maju traktor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini adalah bagian dari penelitian yang dibiayai oleh I-MHERE Project B.2.C IPB dan Penelitian BOPTN dana DIPA IPB 2013.

DAFTAR PUSTAKA

- Annas, M.S. (2012). *Otomasi Kemudi Pada Traktor 4 Roda Menggunakan Labview dan RTK-DGPS (Studi Kasus Traktor Mini Empat Roda)*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Bell, T. (2000). Automatic tractor guidance using carrier-phase differential GPS. *Computers and electronics in Agriculture* **25**(2000): 53-66.
- Bintarjo, A.P. (2013). *Rancang Bangun sistem Pengendalian Nirkabel Pada Pengemudian Traktor Mini*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Desrial, Subrata, I.M., Ahmad, U., Annas, M.S. dan Rahman, C.S. (2010). Pengembangan Sistem Kemudi Otomatis Pada Traktor Pertanian Menggunakan Navigasi GPS. *Prosiding Seminar Nasional Mekanisasi Pertanian 2010, Serpong*.
- Ming Li, Kenji, I., Katsuhiko, W. dan Shinya, Y. (2009). Review of research on agricultural vehicle autonomous guidance. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering* **2**: 1-6.
- Nagasaka, Y., Umeda, N., Kanetai, Y., Taniwaki, K. dan Sasaki, Y. (2004). Autonomous guidance for rice transplanting using global positioning and gyroscopes. *Computers and Electronics in Agriculture* **43**: 223-234.
- Rahman, C.S. (2013). *Rancang Bangun Sistem Kemudi Otomatis Traktor Pertanian Berbasis Navigasi GPS*. Tesis. Sekolah Pasca Sarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Scarlet, A.J. (2001). Integrated control of agricultural tractors and implements: a review of potential opportunities relating to cultivation and crop establishment machinery. *Computers and Electronics in Agriculture* **72**: 167-191.
- Snyder, J.P. (1987). Map projections - a working manual. US Geological Survey Professional Paper 1395. <http://pubs.er.usgs.gov/publication/pp1395>. [15 Juni 2012].
- Srivastava, A.K., Goering, C.E., Rohrbach, R.P. dan Buckmaster, D.R. (2006). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. Ed ke-2. Michigan: ASABE.
- Sutiarso, L. Koike, M. dan Takigawa, T. (1999). Trajectory Control System for Autonomous Agricultural Tractor. *Proceedings of 13th International Conference of The ISTVS* **2**: 743-750.