

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 5, No. 1, April 2017



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Riset Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu pada bulan April, Agustus dan Desember berisi 12 naskah untuk setiap monuron baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (me-review) Naskah pada penerbitan Vol. 5 No. 1 April 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dr.Ir. Lady Corrie Ch. Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Rudiati Evi Masithoh, STP, M.Dev.Tech (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof. Dr.Ir. Bambang Purwantana, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Ir. I Made Supartha Utama, MS., Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Udayana), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Sri Rahayoe, STP., MP (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Joko Nugroho Wahyu Karyadi. M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarto, M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Abdul Rozaq, DAA (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Diding Suhandy, STP.,M.Agr (Fakultas Pertanian, Universitas Lampung), Ir. Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Ir. Sitti Nur Faridah, MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Suhardi, STP., MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Hadi K. Purwadaria, M.Sc (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Kinerja Traksi Roda Ramping Bersirip pada Berbagai Kombinasi Jumlah dan Sudut Sirip di Tanah Sawah Berlumpur

Tractive Performance of Narrow Lugged Wheels with Various Combinations of Lug Spacing and Lug Angle on Puddled Paddy Field

Ubaidillah, Mahasiswa Pascasarjana, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan,
Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Email: ubaidillah88@gmail.com

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: w_hermawan@ipb.ac.id

Radite Praeko Agus Setiawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: iwan_radit@yahoo.com

Abstract

The lugged wheel as tractive tools in Indonesian agriculture mainly used for land preparation, i.e. hand tractor operations. There are basic needs to develop narrow lugged wheel designed for post-planting application that has ability for inter-row paddy field operation. The aim of present study was to determine tractive performance of narrow lugged wheel. The tested wheel has 85.5 cm of outer diameter and 14 × 8 cm of lug dimension, with three combinations of each lug spacing and lug angle. The experiment was conducted on an actual paddy field and some tractive performances were determined. The results indicate that tractive power output reached a peak at about 12 – 30 % of wheel slip, depending on the lug angle and lug spacing. The lugged wheel with 30° lug angle and 30° lug spacing showed higher tractive power compared to other combinations. The tractive power output and tractive efficiencies of narrow lugged wheel were lower than that of the conventional wheel. The average wheel slip at the peak tractive efficiency was ranged 13 – 23 %, depending on the lug angle and lug spacing. Based on the performance, the narrow lugged wheel with 30° lug angle and 30° lug spacing is recommended for further development of narrow lugged wheel.

Keywords: *lugged wheel, narrow lug, paddy field, tractive performance*

Abstrak

Roda besi bersirip sebagai komponen penghasil traksi pada pertanian di Indonesia utamanya digunakan pada kegiatan penyiapan lahan. Muncul kebutuhan mendasar untuk mengembangkan roda besi bersirip ramping yang dirancang untuk diaplikasikan pada kegiatan pasca-tanam yang memiliki kemampuan beroperasi di sela alur tanaman padi. Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan performansi traksi dari roda bersirip ramping untuk beroperasi di sela alur tanaman padi. Roda berdiameter luar 85.5 cm dan berdimensi sirip 14×8 cm, dengan tiga kombinasi pada masing-masing jarak antar sirip dan sudut sirip. Penelitian dilakukan secara aktual di lahan berlumpur dengan beberapa parameter performansi traksi yang diamati. Hasil pengujian mengindikasikan daya tarik maksimum diperoleh pada rentang slip roda 12 – 30 %, bergantung sudut dan jarak sirip yang digunakan. Roda bersirip dengan sudut sirip 30° dan jarak antar sirip 30° menunjukkan tenaga tarik lebih besar dibandingkan dengan kombinasi lainnya. Daya tarik dan efisiensi traksi dari roda bersirip ramping lebih kecil dibandingkan dengan roda sangkar konvensional. Nilai rata-rata slip roda pada efisiensi traksi maksimum berkisar pada 13 – 23 %, bergantung sudut dan jarak sirip yang digunakan. Berdasarkan parameter performansi traksi, roda bersirip ramping dengan sudut sirip 30° dan jarak antar sirip 30° direkomendasikan untuk pengembangan lanjutan dari roda bersirip ramping.

Kata Kunci: lahan sawah, performansi traksi, roda bersirip, sirip ramping

Diterima: 17 Maret 2016; Disetujui: 13 Mei 2016

Pendahuluan

Mekanisasi pertanian dianggap sebagai jawaban atas permasalahan kurangnya tenaga kerja dan mahalnya upah (Triratanasirichai *et al.* 1990). Pada kasus Indonesia, pengaplikasian mekanisasi pertanian dalam budidaya padi di lahan (*on farm*) umumnya masih berfokus pada penyiapan lahan dan proses panen. Namun proses-proses pasca-tanam untuk perawatan tanaman, seperti pengendalian hama dan gulma, pengaplikasian bahan kimia penunjang dan pupuk umumnya masih mengandalkan tenaga manusia sebagai komponen utama. Dibutuhkan inovasi rekayasa mekanisasi pertanian untuk memecahkan permasalahan tersebut. Namun demikian, penelitian oleh Setiawan *et al.* (2013) memberikan fakta bahwa pengembangan alat dan mesin pertanian untuk proses perawatan tanaman, utamanya padi, menemui beberapa kendala. Salah satunya adalah lahan pertanaman padi di Indonesia umumnya tak terkonsolidasi atau tak memiliki lapisan keras (*hardpan*), ataupun lapisan keras (*hardpan*)-nya terlalu dalam. Kondisi tak terkonsolidasi inilah yang menyebabkan alat dan mesin mekanis, terutama untuk perawatan tanaman, memiliki kesulitan mobilisasi di lahan berlumpur. Penelitian tersebut juga berfokus pada studi gerak roda tunggal bersirip sebagai komponen penghasil traksi yang dirancang untuk mesin perawatan tanaman secara teoritis.

Terkait performansi traksi sendiri, penelitian oleh Triratanasirichai *et al.* (1990) berkesimpulan bahwa parameter-parameter performansi seperti tenaga tarik maksimum beserta efisiensi traksinya merupakan parameter yang dapat dijadikan patokan sebagai pemilihan spesifikasi roda yang baik. Beberapa peneliti sebelumnya telah banyak melakukan kajian terkait performansi traksi roda sangkar dengan beragam konfigurasi roda yang diteliti pada lintasan tanah berlumpur, baik dengan pengamatan aktual di lapangan (Triratanasirichai *et al.* 1990) maupun dengan media bak tanah (*soil bin*) (Hermawan *et al.* 1998b; Wayotha dan Salokhe 2001; Soekarno dan Salokhe 2003).

Roda besi bersirip sebagai penghasil traksi pada mesin-mesin yang dioperasikan di sawah yang telah ada tanaman padinya harus disesuaikan ukuran lebar siripnya dan diameter rodanya. Hal ini dikarenakan roda harus mampu melintas di sela alur tanaman padi dan memberikan kerusakan minimal pada daerah perakaran, maka lebar sirip roda harus menyesuaikan dengan lebar alur sela tanaman. Sirip roda yang sempit (*ramping*) dapat menyebabkan penurunan kemampuan traksi. Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian lebih lanjut terkait performansi traksi dari roda bersirip *ramping*.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji performansi traksi dari roda bersirip *ramping* yang didesain untuk dapat melintas di sela alur tanaman padi di lahan

basah berlumpur. Selain itu, dilakukan komparasi hasil yang didapatkan terhadap performansi traksi roda sangkar konvensional.

Metode

Waktu, Lokasi Penelitian dan Kondisi Tanah

Penelitian dilakukan pada bulan Agustus 2015 - Januari 2016. Lahan yang digunakan sebagai tempat pengujian kinerja traksi roda pada traktor ini merupakan lahan sawah yang dilumpurkan dengan bajak rotari traktor roda empat dengan rata-rata kedalaman lapisan lumpur 20.14 ± 2.63 cm. Diketahui tanah pada sawah uji bertekstur *silty clay loam* dengan proporsi kandungan pasir 5.67%, debu 52.67% dan liat 41.67% (Rizaldi 2015), dengan kadar air, kerapatan isi tanah (*bulk density*), porositas, batas cair dan batas plastis berturut-turut nilainya adalah $62.59 \pm 2.46\%$; 1.05 ± 0.07 g/cm³; $60.55 \pm 2.81\%$; 36.65% dan 18.82%.

Roda Uji dan Traktor

Guna mengakomodasi semua kombinasi konfigurasi roda yang akan diujikan, maka roda uji dibuat dengan kemampuan adaptasi terhadap konfigurasi yang akan diujikan. Rim roda dibuat dengan bahan pipa baja dengan diameter luar 25.4 mm, dan sirip roda terbuat dari plat baja dengan tebal 3 mm dengan dimensi (lebar \times tinggi) 14 \times 8 cm. Dimensi sirip tersebut, terutama lebar sirip, dimaksudkan untuk mengakomodasi dan memberikan kerusakan minimal pada jarak antar alur tanaman padi dengan sistem intensifikasi padi (*System of Rice Intensification/SRI*) di Indonesia dengan jarak antar alur tanaman sebesar 20 – 25 cm (Makarim *et al.* 2002). Diameter roda sebesar 85.5 cm dirancang dengan pendekatan disain teoritis oleh Sakai *et al.* (1987) untuk roda besi bersirip traktor roda dua. Dalam pengembangan lanjutan untuk pengembangan mesin-mesin penyiang gulma dan aplikator pupuk dan bahan kimia, faktor-faktor pembatas seperti jarak antar alur tanaman padi dan tinggi tanaman padi menjadi pertimbangan penting. Faktor tersebut menjadi penting karena menentukan dimensi lebar sirip dan diameter roda agar memberikan kerusakan minimal pada tanaman padi.

Roda diuji pada tiga kombinasi sudut sirip (*lug angle*) (30°, 45°, 60°) dan tiga kombinasi sudut antar sirip (*lug spacing*) (36°, 30°, 25.7°) atau setara dengan 10, 12 dan 14 sirip. Kombinasi dari sudut dan jumlah sirip tersebut telah umum diteliti oleh peneliti sebelumnya, seperti Triratanasirichai *et al.* (1990). Sudut sirip secara teoritis menentukan dalam arah geseran tanah, sebagaimana juga jumlah sirip juga berperan penting yang menentukan jarak antar ceruk yang dibentuk oleh sirip dan slip roda (Hermawan *et al.* 2000). Guna mengakomodasi semua kombinasi perlakuan untuk

Tabel 1. Spesifikasi teknis traktor dan roda uji.

Parameter Desain	Dimensi
Diameter luar roda	85.5 cm
Diameter rim roda	64.5 cm
Lebar penghubung rangka roda (Hh)	10 cm
Jarak titik tengah gearbox-ujung poros (Lw+Hb)	39 cm
Jumlah rim roda	1 buah
Jumlah jari-jari roda	8 buah
Dimensi sirip (lebar×tinggi)	14×8 cm
Tebal plat sirip	3 mm
Sudut sirip	30°/45°/60°
Jumlah sirip	10/12/14 buah
Berat roda	12.85±0.53 kg

uji performansi traksi, roda uji dilengkapi dengan beberapa komponen pendukung. Komponen-komponen tersebut meliputi dudukan sirip serta plat pengatur sudut sirip. Dudukan sirip adalah tempat pemasangan sirip yang jumlah dan posisinya disesuaikan dengan perlakuan banyaknya sirip yang diujicobakan, serta plat tambahan pengatur sirip yang dilengkapi tiga lubang yang posisinya memungkinkan sirip membentuk sudut yang diujicobakan. Ilustrasi roda dan data teknis lainnya sebagaimana tampak pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Traktor yang digunakan sebagai penggerak pada penelitian ini adalah traktor tangan Yanmar, tipe Bromo DX dengan penggerak motor diesel, satu silinder horizontal 4 langkah, tenaga maksimum 8.5 HP pada 2200 rpm.

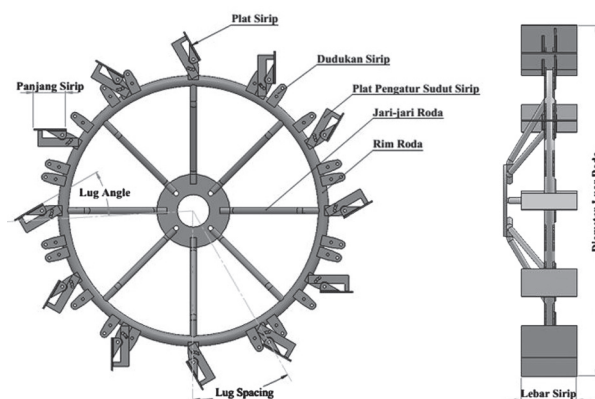
Instrumentasi Uji dan Sistem Akuisisi Data

Instrumen uji digunakan untuk mengukur parameter torsi dan ketenggelman roda (*sinkage*). Torsi (T) pada poros roda traktor diukur dengan menggunakan *transducer* torsi dengan dua buah *strain gauge* yang dipasang secara silang pada poros roda tambahan. *Transducer* dipasang di antara *flens* pada poros traktor dan roda. Secara skematis, pemasangan *strain gauge* pada *transducer* torsi ditunjukkan pada Gambar 2.

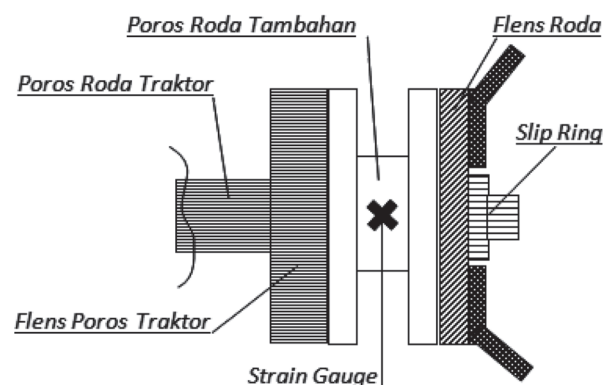
Ketenggelman roda (z) selama traktor melintas diukur dengan perangkat pengukur ketenggelman roda berupa peluncur ayun dengan sensor potensiometer linear. Potensiometer linear ini terpasang pada sebuah ujung lengan ayun fleksibel yang pada ujung yang lain disambungkan pada poros traktor. Pelampung akan kontak langsung dengan permukaan lintasan berlumpur dan ikut terseret searah pergerakan traktor. Selama terseret mengikuti pergerakan traktor, lengan ayun fleksibel akan membentuk besaran sudut tertentu terhadap pelampung bergantung ketenggelman roda yang terjadi. Sudut ini yang akan diukur oleh potensiometer linear. Secara skematis, perangkat pengukur ketenggelman roda diperlihatkan pada

Gambar 3.

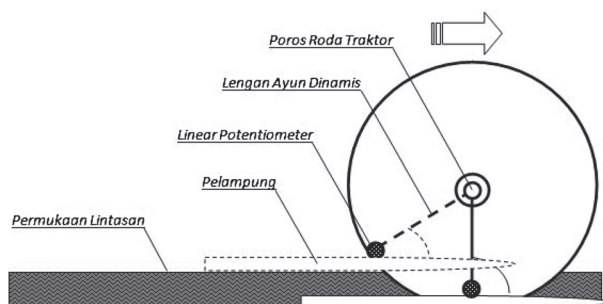
Parameter torsi direkam melalui perangkat perekam data dengan peralatan yang berturut-turut meliputi *strain gauge*, *slip ring*, *bridge box*, *strain amplifier*, *data logger*, dan satu unit *personal computer* sebagai unit perekam data. Sedangkan parameter ketenggelman roda direkam melalui komponen potensiometer linear yang ada pada perangkat pengukur ketenggelman roda, dilanjutkan ke *data logger* dan satu unit *personal computer* sebagai unit perekam data. Perekaman data torsi dan ketenggelman roda dilakukan selama 40 detik dengan frekuensi perekaman 25 Hz sebagaimana dilakukan oleh Triratanasirichai *et al.* (1990). Sistem akuisisi data torsi dan ketenggelman roda secara skematis digambarkan pada Gambar 4.



Gambar 1. Ilustrasi roda uji.



Gambar 2. Ilustrasi pemasangan strain gauge pada poros roda.



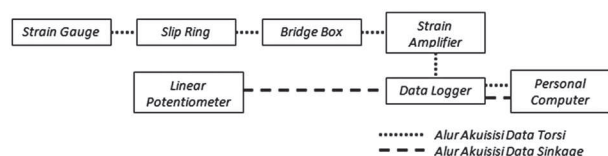
Gambar 3. Ilustrasi perangkat pengukur ketenggelman roda.

Prosedur Pengujian Kinerja Traksi

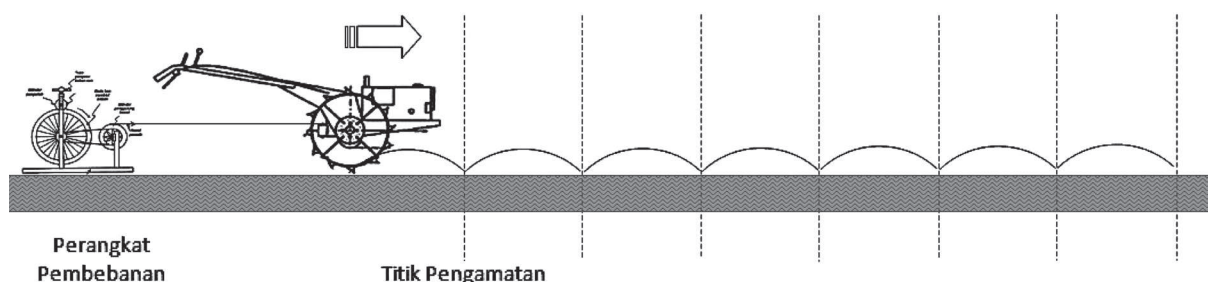
Pengujian kinerja traksi roda dilakukan pada lahan sawah berlumpur dengan lintasan lurus sepanjang $\pm 20\text{m}$. Pada satu ujung lintasan, ditempatkan perangkat pembebanan dengan sistem pengereman dengan kapasitas pembebanan maksimum 740 N. Selanjutnya, kawat baja sling dari perangkat pembebanan dihubungkan dengan *three-point hitch* yang ada pada bagian belakang traktor. Pemberian beban pada perangkat pembebanan dilakukan seiring dengan bergerak majunya traktor, serta besarnya beban yang diberikan selama traktor bergerak direkam menggunakan *digital camera*. Proses perekaman data torsi dan ketenggelman roda oleh sistem akuisisi data dimulai sebelum, selama dan setelah traktor melintas. Dalam penelitian ini, jarak yang ditempuh oleh traktor dibagi menjadi tujuh titik pengamatan. Tujuh titik pengamatan ini didasarkan pada tiap satu putaran penuh roda, dimana dalam satu kali melintas dilakukan tujuh kali putaran penuh roda. Pada masing-masing ketujuh titik pengamatan ini, dilakukan pengukuran jarak tempuh linear dan waktu tempuh. Parameter jarak tempuh pada setiap titik pengamatan akan dimanfaatkan untuk perhitungan parameter kecepatan linear (v) dan slip roda (S). Sedangkan parameter waktu akan dimanfaatkan untuk perhitungan parameter kecepatan linear (v) dan kecepatan anguler roda (ω), serta sebagai basis sinkronisasi data parameter torsi (T), gaya tarik traktor (P) dan ketenggelman roda (z). Setiap variasi spesifikasi roda yang diujicobakan diulang sebanyak tiga kali melintas, sehingga didapatkan sebanyak 21 data untuk masing-masing parameter pada masing-masing perlakuan. Secara skematis, prosedur pengujian kinerja traksi tampak pada Gambar 5.

Perhitungan Kinerja Traksi

Guna mengetahui kinerja traksi dari roda, perlu diketahui beberapa parameter, yaitu tenaga



Gambar 4. Skema sistem akuisisi data parameter torsi dan ketenggelman roda.



Gambar 5. Ilustrasi prosedur pengujian traksi.

tarik (*drawbar power*), tenaga masukan pada poros roda (*power input*) dan efisiensi traksi (*tractive efficiency*). Ketiga parameter tersebut, pada penelitian-penelitian sebelumnya, umumnya ditampilkan bersamaan dengan slip roda. Nilai slip roda dirumuskan sebagaimana berikut.

$$S = 100 \times \left(\frac{l_t - l_a}{l_t} \right) \quad (1)$$

Slip roda (s) diketahui dengan mengukur jarak perpindahan linier yang dihasilkan satu putaran penuh roda traktor dengan beban (l_a) pada lintasan dan membandingkannya dengan jarak perpindahan linier yang dihasilkan satu putaran penuh roda traktor tanpa beban (l_t) yang telah diketahui sebelumnya. Nilai tenaga tarik (*drawbar power*/ P_o) dan tenaga masukan (*power input*/ P_i) dalam Watt diketahui berturut dari Persamaan 2 dan 3, di mana P adalah gaya tarik traktor (N), v merupakan kecepatan linear traktor (m/s), T adalah torsi pada poros roda (Nm) dan ω adalah kecepatan anguler roda (rad/s). Adapun nilai efisiensi traksi (*tractive efficiency*/ η) dalam % diketahui dari Persamaan 4.

$$P_o = P \times v \quad (2)$$

$$P_i = T \times \omega \quad (3)$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 \quad (4)$$

Hasil dan Pembahasan

Hubungan Tenaga Tarik serta Beban Terhadap Slip Roda

Hubungan tenaga tarik (*drawbar power*) terhadap slip roda dan slip roda terhadap beban untuk masing-masing perlakuan tampak pada Gambar 6. Dari data diketahui bahwa slip roda terjadi guna menghasilkan gaya tarik (Gee-Clough (1991) dalam Soekarno dan Salokhe 2003), sehingga tenaga tarik, yang mempersyaratkan adanya gaya tarik, juga bergantung timbulnya slip roda (Soekarno dan Salokhe, 2003). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa hubungan tenaga tarik terhadap slip roda sesuai dengan cukup baik yang dibuktikan dengan nilai koefisien determinasi pada Tabel 2 dengan garis yang dibentuk oleh fungsi polinomial (Gambar

6). Hubungan yang sama juga dihasilkan oleh penelitian-penelitian sebelumnya, seperti oleh Wayotha dan Salokhe (2001); dan Soekarno dan Salokhe (2003).

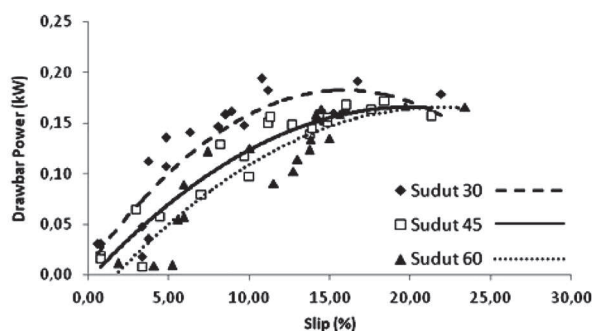
Secara umum, fungsi polinomial yang terbentuk dari hasil analisis regresi memiliki bentuk umum sebagaimana berikut, dimana P_o adalah tenaga tarik (*drawbar power*) dalam satuan kW; s adalah nilai slip roda dalam satuan %; serta A , B dan C merupakan konstanta pembentuk persamaan.

$$P_o(s) = As - Bs^2 - C \quad (5)$$

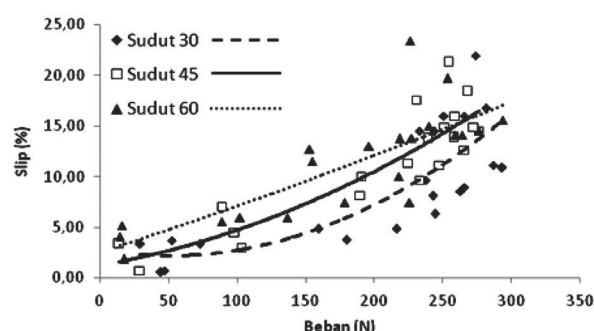
Nilai masing-masing konstanta A , B dan C beserta nilai koefisien determinasi (R^2) dan nilai *Standard Error of Estimation (SEE)* untuk masing-masing perlakuan tampak pada Tabel 2. Dari data pada Tabel 2 serta ilustrasi grafik hubungan tenaga tarik terhadap slip roda pada Gambar 6, dapat disimpulkan bahwa peningkatan nilai slip roda mengakibatkan peningkatan tenaga tarik yang

dihasilkan, yang juga berimbas pada peningkatan efisiensi traksi, hingga tenaga tarik mencapai nilai maksimumnya pada nilai slip roda tertentu. Namun demikian, peningkatan nilai slip roda yang lebih besar dari nilai slip saat tenaga tarik maksimum tersebut, justru mengakibatkan penurunan tenaga tarik yang dihasilkan. Kesimpulan ini juga dilaporkan oleh beberapa penelitian sebelumnya, baik yang menguji performansi traksi roda bersirip di lahan berlumpur aktual (Triratanasirichai *et al.*, 1990) maupun pengujian di media *soil bin*, seperti oleh Wayotha dan Salokhe (2001); dan Soekarno dan Salokhe (2003).

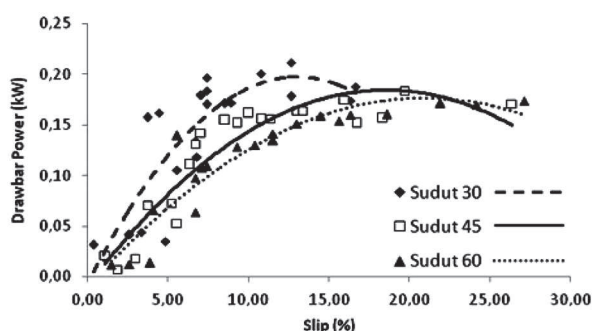
Dengan memanfaatkan bentuk persamaan polinomial serta konstanta yang ada pada Tabel 2, dapat diketahui secara simulasi matematis berapa nilai tenaga tarik maksimum yang mampu dihasilkan oleh roda pada setiap perlakuan, dan pada slip roda berapa tenaga tarik maksimum tersebut terjadi. Tabel 3 menyajikan hasil simulasi matematis berupa nilai tenaga tarik maksimum



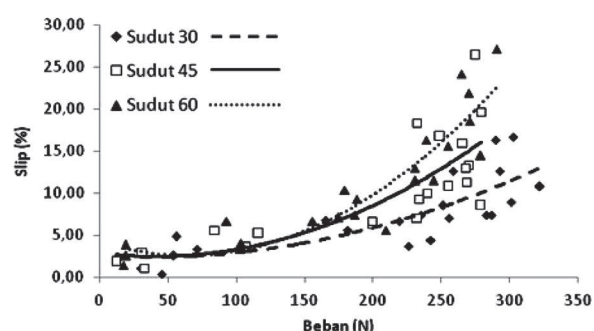
A1



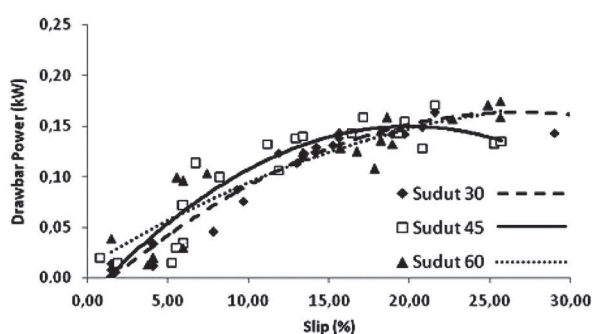
A2



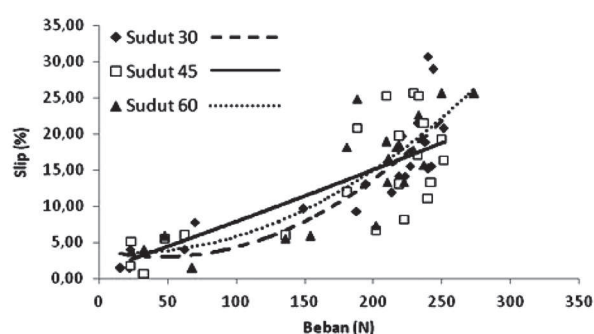
B1



B2



C1



C2

Gambar 6. Hubungan tenaga tarik terhadap slip (A1, B1, C1) dan slip terhadap beban tarik (A2, B2, C2) pada berbagai perlakuan (A) 10 sirip; (B) 12 sirip; (C) 14 sirip.

Tabel 2. Hasil analisis regresi hubungan tenaga tarik terhadap slip roda.

Jumlah Sirip	Sudut Sirip (°)	Konstanta A	Konstanta B	Konstanta C	R ² *	SEE**
10	30	0.021	0.00064	(-0.008)	0.803	0.03
	45	0.017	0.00042	0.004	0.917	0.02
	60	0.017	0.00037	0.028	0.803	0.02
12	30	0.031	0.00120	0.006	0.731	0.03
	45	0.021	0.00057	0.010	0.872	0.02
	60	0.017	0.00039	0.010	0.863	0.02
14	30	0.013	0.00022	0.020	0.950	0.01
	45	0.017	0.00043	0.020	0.852	0.02
	60	0.009	0.00011	(-0.012)	0.831	0.02

*R², Koefisien determinasi

**SEE, Standard error of estimation

Tabel 3. Hasil simulasi dan pengukuran nilai tenaga tarik maksimum terhadap slip roda.

Jumlah Sirip	Sudut Sirip (°)	Parameter Terukur	
		P _{oMaks} (kW)	Slip (%)
10	30	0.19	17
	45	0.17	21
	60	0.17	23
12	30	0.21	13
	45	0.18	20
	60	0.17	22
14	30	0.17	31
	45	0.17	22
	60	0.17	26

yang mungkin dicapai dan nilai slip roda saat tenaga tarik maksimum tersebut terjadi. Sebagai perbandingan, juga ditampilkan hasil pengukuran tenaga tarik maksimum dan nilai slip rodanya dari hasil pengukuran di lapangan.

Dari data pada Tabel 3, juga diketahui bahwa nilai maksimum tenaga tarik terukur pada berbagai perlakuan bervariasi pada nilai slip roda antara 12 – 30 %. Hal ini sedikit berbeda dengan hasil penelitian sebelumnya, sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Triratanasirichai *et al.*, (1990) yang juga menguji performansi traksi roda sangkar aktual di lahan berlumpur menggunakan traktor tangan, berkesimpulan bahwa nilai maksimum tenaga tarik diperoleh pada rentang nilai slip roda 30 – 40 %. Penelitian pada roda sangkar dengan spesifikasi dan konfigurasi sirip berbeda pada media *soil bin* dilakukan oleh Soekarno dan Salokhe (2003) dengan nilai tenaga tarik maksimum diperoleh pada nilai slip roda sekira 15%. Penelitian oleh Wayotha dan Salokhe (2001) menghasilkan nilai maksimum tenaga tarik diperoleh pada nilai slip roda sekitar 34%.

Dari data pada Tabel 3 pula diketahui pula sudut sirip 30° dan 45° berturut-turut relatif memberikan tenaga tarik maksimum lebih tinggi

jika dibandingkan dengan sudut sirip 60° pada berbagai perlakuan. Hasil ini bersesuaian dengan penelitian sebelumnya, bahwa sudut sirip yang lebih kecil (45° dan 30°) menghasilkan tenaga tarik lebih besar jika dibandingkan dengan sudut sirip yang lebih besar (60°), sebagaimana dilaporkan oleh Triratanasirichai *et al.* (1990). Perbedaan jumlah sirip pada roda berpengaruh terhadap tenaga tarik maksimum yang mungkin dihasilkan oleh roda. Jumlah sirip roda 12 dan 10 berturut-turut relatif menghasilkan tenaga tarik maksimum lebih besar jika dibandingkan dengan sirip roda yang lebih banyak. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan jumlah sirip yang ada pada roda tidak selalu berimplikasi pada peningkatan tenaga tarik (*drawbar power*) yang dihasilkan. Argumen yang diajukan atas hasil ini adalah terlalu rapatnya jarak antar sirip menyebabkan jarak antar ceruk pada permukaan lintasan yang juga memendek. Jarak yang antar ceruk yang pendek berpotensi menghasilkan geseran tanah ke arah belakang yang berimplikasi pada kecilnya gaya reaksi yang diberikan lintasan terhadap sirip. Selain itu, argumen lain yang diajukan oleh peneliti sebelumnya adalah tahanan guling (*rolling resistance*) yang lebih tinggi serta melengketnya tanah pada permukaan sirip dan roda (Wayotha dan Salokhe 2001).

Effisiensi Traksi dan Hubungannya terhadap Beban

Nilai efisiensi traksi, pada beberapa penelitian sebelumnya seperti oleh Triratanasirichai *et al.*, (1990); Wayotha dan Salokhe (2001); dan Soekarno dan Salokhe (2003), selalu disandingkan dengan nilai slip roda saat nilai efisiensi traksi tersebut tercapai. Berdasarkan data tenaga tarik terukur maksimum, nilai efisiensi traksi pada masing-masing perlakuan tampak pada Tabel 4. Berdasarkan pertimbangan sebagaimana oleh Triratanasirichai *et al.* (1990) dan Wayotha dan Salokhe (2001) yang mendasarkan spesifikasi roda terbaik pada performansi traksi dan biaya pembuatan, maka spesifikasi roda dengan jumlah 12 sirip dengan sudut 30° dianggap spesifikasi

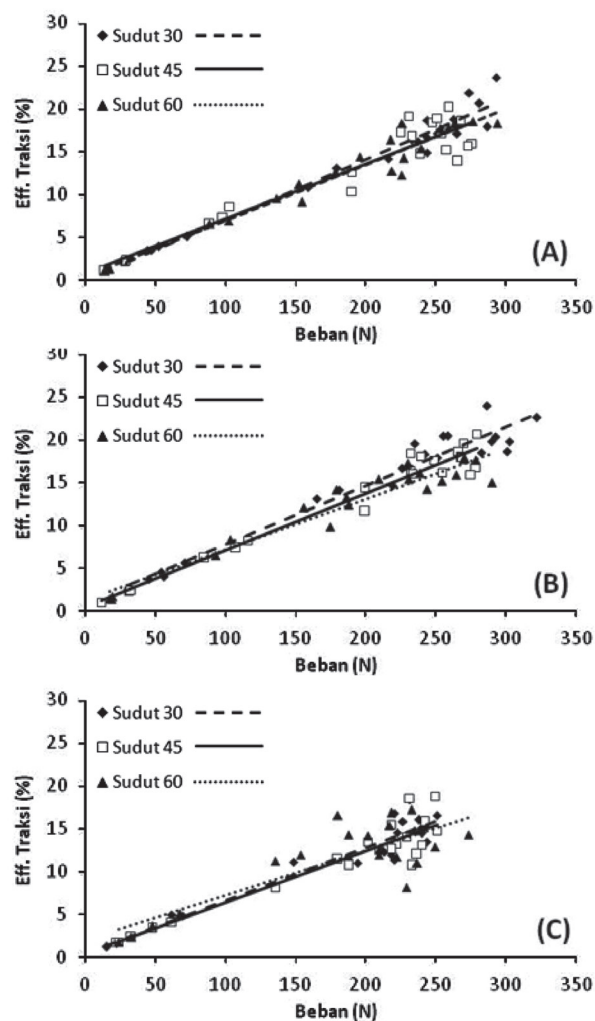
Tabel 4. Efisiensi traksi terhadap slip roda pada masing-masing perlakuan.

Jumlah Sirip	Sudut Sirip (°)	Torsi (Nm)	ω (rad/s)	Daya Input (kW)	P_{oMaks} (kW)	Eff. Traksi (%)	Slip (%)
10	30	503.84	1.62	0.82	0.19	23.72	10.78
	45	530.33	1.56	0.83	0.17	20.19	16.02
	60	553.80	1.59	0.88	0.16	18.61	14.50
12	30	511.02	1.60	0.82	0.20	24.04	7.43
	45	480.30	1.85	0.89	0.18	20.70	19.70
	60	546.58	1.65	0.90	0.16	17.81	18.59
14	30	526.15	1.69	0.89	0.16	18.41	21.56
	45	567.04	1.34	0.76	0.14	18.84	19.33
	60	566.14	1.60	0.91	0.16	17.24	22.68

optimum dari roda bersirip ramping. menunjukkan hubungan efisiensi traksi terhadap beban yang diberikan. Secara umum, efisiensi traksi meningkat seiring dengan peningkatan beban yang diberikan pada semua variasi jumlah dan sudut sirip. Dari hubungan ini diketahui bahwa efisiensi traksi terhadap beban membentuk garis linear dengan nilai koefisien determinasi yang tinggi ($R^2 \geq 0.89$). Secara teoritis, hubungan efisiensi traksi terhadap beban membentuk garis polinomial, dimana pada tingkat beban tertentu, efisiensi traksi mencapai titik puncaknya dan tidak dapat lebih besar lagi. Hal ini dimungkinkan karena penambahan beban cenderung berimplikasi pada membesarnya slip roda, dan di saat yang sama hubungan efisiensi traksi terhadap slip roda membentuk garis polinomial (Wayotha dan Salokhe 2001). Pada penelitian ini, garis yang terbentuk adalah garis linear yang hanya berlaku pada rentang beban 0 - 350 N, yaitu rentang beban yang diperoleh selama pengujian performansi traksi (Gambar 7). Pada rentang beban tersebut, nilai efisiensi traksi maksimum dari roda belum tercapai.

Namun demikian, selain faktor-faktor pertimbangan yang telah disebutkan sebelumnya, tak kalah pentingnya adalah mempertimbangkan faktor kerusakan lintasan karena melintasnya roda. Hal ini mengingat roda akan melintas di antara alur tanaman padi yang berpotensi akan menyebabkan kerusakan pada daerah perakaran tanaman padi. Metode yang digunakan pada penelitian seperti oleh Hermawan *et al.*, (1997, 1998a, 2000) dan Setiawan *et al.* (2013), yang melakukan studi terkait pengaruh sudut sirip dan jumlah sirip terhadap arah gerak (*lug trajectory*) saat tenggelam di dalam tanah, dapat digunakan sebagai dasar pertimbangan lebih lanjut. Hal ini mengingat jumlah sirip yang ada pada roda menentukan terkait seberapa rapat ceruk bekas melintas yang timbul pada lintasan. Selain itu, sudut sirip berperan dalam menentukan arah geseran tanah yang ditimbulkan sirip saat roda melintas. Hasil pengukuran ketenggelaman roda menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan antar perlakuan, dengan rata-rata ketenggelaman roda (z) sekira 20 ± 4.16 cm dengan kecenderungan

meningkat seiring dengan peningkatan slip roda. Nilai z yang cukup besar dan tidak berbeda signifikan tersebut dimungkinkan karena beban vertikal dari traktor sendiri yang cukup besar (251 kg). Dengan beban vertikal tersebut, kemampuan roda bersirip ramping untuk menghasilkan gaya angkat pada lintasan berlumpur menjadi tereduksi oleh karena luas permukaan sirip yang terbatas. Nilai z yang cukup besar tersebut (sekitar 23 % dari



Gambar 7. Hubungan efisiensi traksi terhadap beban (A) 10 sirip; (B) 12 sirip; (C) 14 sirip.

diameter luar roda) diduga kuat sebagai penyebab nilai efisiensi traksi roda bersirip ramping yang relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan roda besi bersirip konvensional.

Luas permukaan sirip yang terbatas berimplikasi pada gaya reaksi tanah pada sirip yang tereduksi, sehingga titik keseimbangan antara gaya aksi-reaksi antara sirip dan tanah terjadi di ketenggelaman (z) yang relatif besar. Sebagai implikasi lanjutannya, tenaga masukan ($power\ input/P_i$) lebih banyak dimanfaatkan untuk mengatasi hambatan oleh karena ketenggelaman (z). Sehingga porsi tenaga masukan ($power\ input/P_i$) yang dimanfaatkan untuk menghasilkan traksi menjadi lebih berkurang.

Jika dibandingkan dengan penelitian yang bertujuan sama, di lokasi yang sama, namun dengan roda sangkar konvensional oleh Rizaldi (2015) yang dalam perancangannya telah dioptimasi, diketahui bahwa nilai efisiensi traksi terbesar yang diperoleh pada penelitian ini relatif lebih rendah jika dibandingkan dengan nilai efisiensi traksi pada penelitian tersebut, yaitu sekitar 33 %.

Simpulan

Beberapa simpulan yang dapat diajukan dari penelitian ini meliputi beberapa fakta berikut.

1. Hubungan tenaga tarik (*drawbar power*) terhadap silp roda membentuk fungsi polinomial, yaitu nilai tenaga tarik mengalami peningkatan seiring bertambahnya nilai slip hingga mencapai titik maksimumnya pada kisaran 12 – 30 %, bergantung spesifikasi roda yang digunakan.
2. Roda dengan 12 sirip menghasilkan tenaga tarik (*drawbar power*) lebih besar jika dibandingkan dengan roda dengan 10 dan 14 sirip.
3. Sudut sirip 30° dan 45° berturut-turut menghasilkan tenaga tarik (*drawbar power*) lebih besar jika dibandingkan dengan sudut sirip 60°.
4. Spesifikasi roda dengan 12 sirip dan sudut sirip 30° merupakan spesifikasi optimal untuk kondisi tanah dan traktor yang digunakan.

Daftar Pustaka

Hermawan, W., M. Yamazaki, A. Oida. 1997. The characteristics of soil reaction forces on a single movable lug. *Journal of Terramechanics*. 34:23-35.

Hermawan, W., M. Yamazaki, A. Oida. 1998a. Experimental analysis of soil reaction on a lug of a movable lug wheel. *Journal of Terramechanics*. 35:119-135.

Hermawan, W., M. Yamazaki, A. Oida. 1998b. Design and traction performance of the movable lug wheel. *Journal of Terramechanics*. 35:159-177.

Hermawan, W., Yamazaki M, Oida A. 2000. Theoretical analysis of soil reaction on a lug of the movable lug cage wheel. *Journal of Terramechanics*. 37:65-86.

Macmillan, RH. 2002. The Mechanics of Tractor – Implement Performance. University of Melbourne. Melbourne.

Makarim, A.K., V. Balasubramaniam, Z. Zaini, I. Syamsiah, I.G.P.A. Diratmadja, Handoko, Arafah, I.P. Wardana, A. Gani. 2002. System of rice intensification (SRI): evaluation of seedling age and selected components in Indonesia. Di dalam Bouman BAM, Hengsdijk H, Hardy B, Bindraban PS, Tuong TP, Ladha JK (Ed). Water-wise Rice Production. International Rice Research Institute. Manila.

Rizaldi, T. 2015. Metode desain roda besi bersirip optimum untuk lahan sawah (Studi kasus pada tanah silty clay loam) [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.

Sakai, J., T. Kishimoto, S. Phongsupasamit. 1987. A study on engineering design theories of iron wheels for plowing. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. 18(4):11-18.

Setiawan, R.P.A., I.W. Astika, D.M. Subrata, A. Azis. 2013. Design of iron wheel of a light tractor for crop maintenance in unconsolidated paddy field. The International Symposium on Agricultural and Biosystem Engineering (ISABE).

Soekarno, S., V. Salohke. 2003. Soil reactions on the cage wheels with staggered echelons of half-width lugs and perfect chevron lugs in wet clay soil. *Agricultural Engineering International: The CIGR Journal of Scientific Research and Development*. July 2003.

Triratanasirichai K., A. Oida, M. Honda. 1990. The performance of cage wheels for small power tillers in agricultural soil. *Journal of Terramechanics*. 27(3):193-205.

Wayohta, C., V.M. Salokhe. 2001. Tractive performance of cage wheel with opposing circumferential lugs. *Journal of Agricultural Engineering Resource*. 79(4):389-398.