

Analisis Kinerja Traksi Roda Tipe Trek pada Tanah Basah Berlumpur Dalam di Bak Tanah

Muhammad Taufiq^{1*}, Tineke Mandang², Wawan Hermawan², Desrial²

¹ Program Studi Agroteknologi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Indonesia

² Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University, Indonesia

*Email korespondensi: muhammad_taufiq@dosen.pancabudi.ac.id

Info Artikel	Abstract
<p><i>Diajukan: 27 Juni 2022</i> <i>Diterima: 14 September 2022</i></p> <p>Keyword: Design; track wheel; paddy field; tractive performance; soil bin</p> <p>Kata Kunci: Desain; roda trek; lahan sawah; kinerja traksi; soil bin</p>	<p><i>Hand tractors with lugged wheels have difficulty when operating in wet and deep mud of paddy fields. To solve this problem, the wheels need to be replaced with tracks wheel type that have a much larger contact area. Data on traction performance characteristics of the track wheel type on muddy soil are required for design purposes, which can be obtained by testing the prototype of track wheel type on a soil bin. The objective of this research is to analyze the traction performance of the lugged track of wheel type on wet soil. The track wheel type with a length of 60 cm and a width of 20 cm will be tested in a soil bin filled with wet and muddy soil with a depth of 30 cm. The test will be carried out on variations in vertical loads of 9.5, 12.5, 15.5, 18.5, and 22.7 kg; horizontal loads of 1, 2, 3, and 4 kg; distance between of lugs of 12.70, 19.05, and 25.40 cm; and height of lugs of 5, 10, and 15 cm. Parameters observed in the test are sinkage, slip and traction efficiency. The test results show that the pull force and vertical force have a dominant effect on track sinkage, track slip, and tractive efficiency. The optimum track wheel type design has size a lug height of 10 cm and a distance between lugs of 19.05 cm result in a sinkage of 7.32 cm, slip of 14%, and tractive efficiency of 68.46%.</i></p> <p>Abstrak</p> <p><i>Traktor tangan dengan roda bersirip mengalami kesulitan saat beroperasi di lahan sawah yang basah dan berlumpur dalam. Salah satu solusi pada masalah ini yaitu dengan cara mengganti roda bersirip dengan alat traksi tipe trek bersirip yang memiliki bidang kontak jauh lebih besar. Data karakteristik kinerja traksi trek pada tanah berlumpur untuk kebutuhan desain dapat diperoleh dengan menguji prototipe roda trek di bak tanah. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja traksi roda tipe trek bersirip pada tanah basah dan berlumpur dalam. Roda tipe trek dengan panjang 60 cm dan lebar 20 cm diuji di bak tanah yang berisi tanah pada kondisi batas cair dan berlumpur sedalam 30 cm. Pengujian dilakukan terhadap variasi beban vertikal 9.5, 12.5, 15.5, 18.5, dan 22.7 kg; beban horizontal 1, 2, 3, dan 4 kg; jarak antar sirip 12.70, 19.05, dan 25.40 cm; dan tinggi sirip 5, 10, dan 15 cm. Parameter yang diamati dalam pengujian yaitu ketenggelman roda, slip, dan efisiensi traksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa beban tarik dan beban vertikal memiliki pengaruh yang dominan terhadap ketenggelman roda, slip, dan efisiensi traksi. Desain roda tipe trek yang optimum memiliki ukuran tinggi sirip 10 cm dan jarak antar sirip 19.05 cm menghasilkan ketenggelman trek 7.32 cm, slip trek 14.43% dan efisiensi traksi 68.46%.</i></p>

Doi: <https://doi.org/10.19028/jtep.10.3.226-239>

1. Pendahuluan

Nilai efisiensi traksi yang tinggi sangat diharapkan agar kinerja traksi pada kegiatan pengolahan tanah dapat berjalan dengan baik. Beberapa permasalahan yang muncul dan sering terjadi pada aktifitas pengolahan tanah sawah dengan menggunakan traktor roda dua terutama pada alat traksi roda seperti roda besi bersirip yang masih dipergunakan pada saat ini yaitu slip roda, gaya tarik roda (*drawbar pull*) dan ketenggelman roda (*sinkage*). Persentase tinggi atau rendahnya traksi dapat diperoleh dengan mempertimbangkan gaya reaksi dari roda penggerak melawan tanah, yang sangat

tergantung pada keadaan dan kualitas tanah (Mandang dan Nishimura, 1991). Oleh karena itu pengembangan desain dari penggunaan alat traksi roda di lahan sawah ini sudah seharusnya sangat memperhatikan gaya-gaya yang bekerja pada roda dan kondisi fisik tanah agar kinerja traksi yang dihasilkan pada roda dapat maksimal.

Penelitian terkait pengembangan rancangan roda besi bersirip untuk traktor roda dua telah banyak dilakukan dengan tujuan agar menghasilkan kinerja traksi roda besi bersirip yang maksimal. Tujuan perancangan desain roda besi bersirip adalah untuk menghasilkan gaya angkat dan gaya tarik serta efisiensi traksi yang lebih tinggi (Hermawan *et al.*, 1998, 2001, 2009). Beberapa dari hasil penelitian yang telah dilakukan dalam rangka mengatasi permasalahan kinerja traksi yang belum maksimal seperti membuat roda besi dengan sirip bergerak (Hermawan *et al.*, 1998). Hasil penelitian-penelitian tersebut menjelaskan bahwa sebenarnya peningkatan kinerja traksi roda masih dapat dimaksimalkan. Beberapa kelemahan pada desain roda besi bersirip pada penelitian tersebut diantaranya yaitu terletak pada *slip* dan *drawbar pull* roda. Kedua faktor *slip* dan *drawbar pull* ini sangat jelas dapat memperkecil efisiensi traksi. Oleh karena itu seharusnya fokus tujuan penelitian selanjutnya adalah untuk mengurangi *slip* dan meningkatkan *drawbar pull* sehingga nantinya akan terjadi peningkatan pada efisiensi traksi.

Penelitian terbaru tentang pengembangan alat traksi roda adalah dengan membuat roda trek berbahan karet (*rubber track wheel*). Roda trek berbahan karet yang diuji pada tanah kering dengan jenis lempung liat berpasir tersebut menunjukkan peningkatan kinerja traksi yang signifikan. Penelitian tersebut menyatakan bahwa rancangan roda trek berbahan karet menghasilkan *drawbar pull* paling terbaik dibandingkan dengan roda ban konvensional pada segala jenis kondisi tanah kering (Rasool dan Raheman, 2018). Penelitian tentang roda tipe trek ini baru diterapkan pada lahan dengan kondisi tanah yang kering. Oleh karena itu penelitian tentang roda tipe trek ini harus dikembangkan kembali pada lahan sawah dengan karakteristik tanah di atas batas cair dan kedalaman lumpur yang melebihi *ground clearance* pada traktor roda dua. Peningkatan efisiensi traksi dan penurunan *slip* terjadi pada roda besi dengan adanya tambahan sirip (Rizaldi, 2015), oleh karena itu roda tipe trek dapat dipasang sirip yang berfungsi untuk meningkatkan efisiensi traksi dan menurunkan *slip*.

Tujuan penelitian ini adalah menguji kinerja traksi model roda tipe trek bersirip pada tanah dengan karakteristik berada pada batas cair dan kedalaman lumpur lebih dari 20 cm di bak tanah (*soil bin*).

2. Metode Penelitian

2.1 Pengkondisian Karakteristik Tanah Basah Berlumpur Dalam pada Bak Tanah

Sampel tanah yang dipilih yaitu berasal dari lahan sawah dengan karakteristik tanah berada pada batas cair dan berlumpur dalam (>20cm). Bak tanah yang digunakan yaitu bak tanah dengan dimensi panjang 1.85 m x lebar 0.4 m. Dimensi bak tanah ditetapkan dengan alasan untuk menyesuaikan dengan kebutuhan pengujian dan juga menyesuaikan dengan dimensi model roda tipe trek bersirip yang diujikan. Pengukuran karakteristik tanah bertujuan untuk dapat mengkondisikan tanah yang akan digunakan di bak tanah. Karakteristik tanah yang diukur diantaranya adalah : (1) kadar air, (2) densitas tanah, (3) batas cair tanah dan (4) tekstur tanah.

Pengukuran kadar air tanah (% bk) dilakukan dengan cara mengambil sampel tanah yang telah dikering anginkan terlebih dahulu lalu dibersihkan dari sampah seperti akar-akar bekas tanaman maupun bebatuan. Proses selanjutnya yaitu penimbangan tanah basis basah yang dilanjutkan dengan proses pengeringan dengan metode oven selama 24 jam agar diperoleh tanah kering sehingga dapat ditimbang berat basis kering dari sampel tanah yang dikeringkan tersebut.

Pengukuran tekstur tanah dilakukan di laboratorium pengujian Balai Penelitian Tanah (Balittanah) dengan menggunakan metode pipet dengan mengambil sampel tanah yang telah dikondisikan di bak tanah.

Batas cair tanah diuji dengan metode Cassagrande. Uji batas cair ini dimaksud agar diketahui pengkondisian tanah yang akan dimasukkan ke dalam bak tanah. Batas cair tanah ini juga akan memberikan masukan untuk membuat perbandingan komposisi antara tanah dengan air sehingga kondisi tanah untuk pengujian di bak tanah berada pada batas cair tanah sesuai dengan kondisi tanah yang diharapkan dalam penelitian ini.

2.2 Desain Roda Tipe Trek Bersirip untuk Pengujian di Bak Tanah (*Soil Bin*)

Pengembangan desain roda tipe trek bersirip dilakukan dengan membuat model roda tipe trek bersirip. Pembuatan model roda tipe trek bersirip ini bertujuan untuk menguji kinerja traksi roda tipe trek bersirip di bak tanah. Komponen dari model roda tipe trek bersirip uji tersebut dibuat dengan beberapa komponen seperti gear/ sproket, rantai, besi poros, roda bantu (*roller*) dan rangka bantu. Sepatu trek (*grouser*) dibuat dengan menggunakan alat print 3 dimensi dengan bahan material plastik ST-PLA. Model trek dibuat dengan dimensi panjang 60 cm, lebar 20 cm, dan tinggi poros depan 8.5 cm dengan keliling trek 152.4 cm. Dimensi tersebut dibuat berdasarkan perbandingan rasio dimensi roda tipe trek jika diterapkan pada traktor roda dua. Adapun perbandingan rasio dimensi antara model roda trek pada pengujian di bak tanah dengan roda tipe trek yang akan diterapkan pada traktor roda dua yaitu 1:2.

Pengujian kinerja traksi dari roda tipe trek bersirip dapat dilakukan dengan menguji beberapa variabel ukuran sirip dan jarak antar sirip. Sirip pada roda tipe trek dirancang berbentuk menyerupai pendayung yang fungsinya diharapkan dapat memudahkan roda tipe trek bersirip ini dapat bergerak melaju pada tanah dengan karakteristik sifat batas cair. Gambar model roda tipe trek bersirip lengkap dengan sepatu trek (*grouser*) dan sirip ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Model roda tipe trek bersirip

Sirip pada roda tipe trek bersirip ini juga dapat divariasikan menjadi 3 ukuran dimensi yang berbeda karena dapat dipasang dengan sistem pengunci baut dan mur, selain itu terdapat juga 3

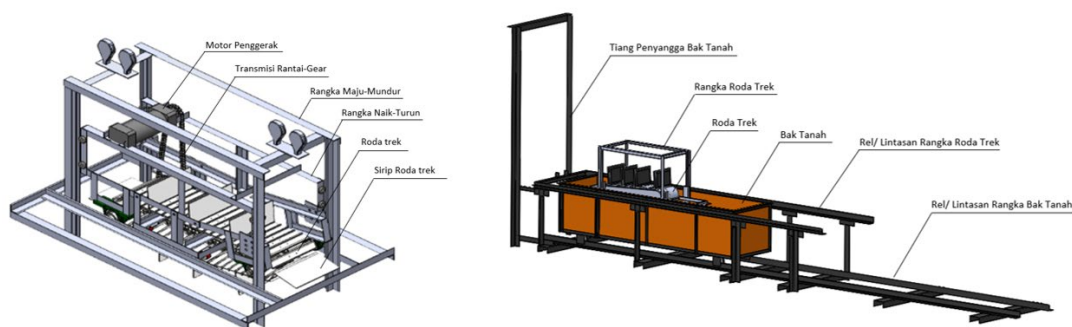
variasi jarak antar sirip yang menunjukkan perbedaan antara jumlah sirip. Variasi dimensi pada sirip dalam pengujian ini yaitu: 1) 5x20 cm, 2) 10x20 cm dan 3) 15x20 cm. Variasi jarak antar sirip (jumlah sirip) yang dapat diatur yaitu: 1) 25.4 cm (6 sirip), 2) 19.05 cm (8 sirip) dan 3) 12.7 cm (12 sirip). Variasi dimensi sirip dan jarak antar sirip (jumlah sirip) ditunjukkan oleh Gambar 2.

Roda tipe trek bersirip pada pengujian di bak tanah dibantu dengan 2 buah rangka pendukung yaitu: 1) rangka maju-mundur dan 2) rangka naik-turun. Rangka maju-mundur adalah rangka yang kedudukannya berada paling terluar dari roda tipe trek bersirip. Rangka maju-mundur ini diberi roda (*bearing*) yang berfungsi untuk mengatur arah gerak roda tipe trek bersirip dengan arah horizontal yaitu maju dan mundur mengikuti jalur bak tanah yang telah ada lintasannya. Sedangkan roda naik-turun adalah rangka yang mengikat langsung roda tipe trek bersirip karena pada rangka naik-turun ini dipasang poros yang menjadi poros belakang/ poros penggerak dan poros depan dari roda tipe

Jarak Antar Sirip Grouser (Jumlah Sirip)			Dimensi Sirip Grouser	
25,4 cm (6 sirip)	19,05 cm (8 sirip)	12,7 cm (12 sirip)		
				5x20 cm
				10x20 cm
			15x20 cm	

Gambar 2. Variasi jarak antar sirip dan dimensi sirip model roda tipe trek bersirip

trek bersirip ini. Rangka naik-turun ini juga diberi roda (*bearing*) yang bersentuhan dengan rangka terluar yaitu rangka maju-mundur, oleh karena itu rangka naik-turun ini akan bergerak turun apabila dalam pengujian diberikan beban vertikal dan naik apabila roda tipe trek ini bergerak akibat pengapungan yang dihasilkan dari gerakan dayungan dari sirip. Rangka pendukung maju mundur ini memiliki roda yang berfungsi juga sebagai kereta yang rodanya terhubung ke lintasan jalur rel yang ada di bak tanah.



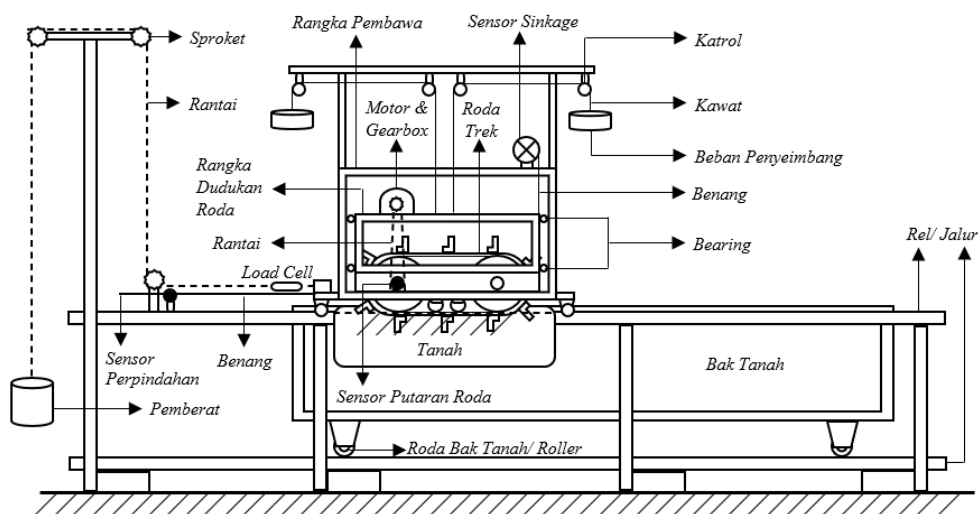
Gambar 3. Roda tipe trek bersirip pada rangka bantu pendukung dan rangka bak tanah

2.3 Analisa Kinerja Traksi Roda Tipe Trek Bersirip di Bak Tanah (*Soil Bin*)

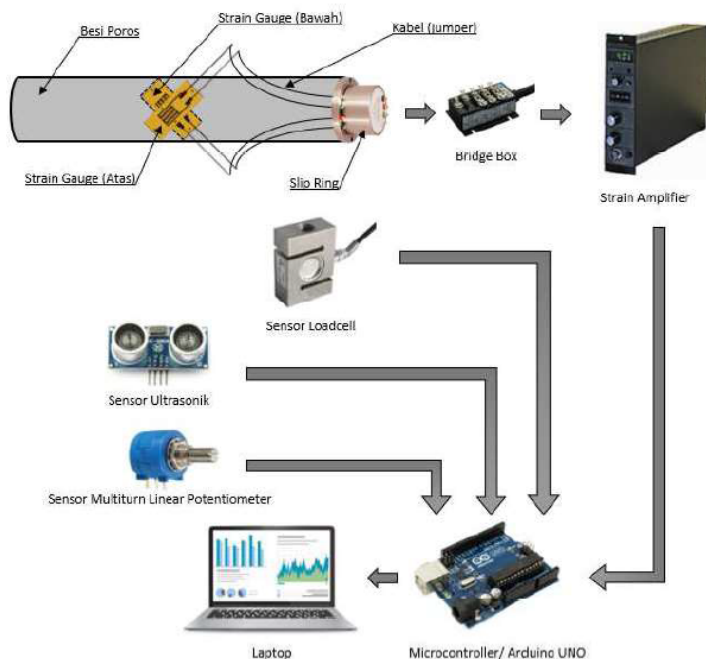
Parameter kinerja traksi roda tipe trek bersirip di bak tanah yang diamati meliputi : 1) ketenggelaman roda (*sinkage*), 2) slip roda, dan 3) efisiensi traksi roda. Kinerja traksi roda trek diamati

dengan menganalisa hubungan antara beban tarik (*pull*) dari arah horizontal dan beban vertikal dengan *sinkage*, slip roda, dan efisiensi traksi. Model roda tipe trek ini diuji pada rentang kecepatan putar 30-60 rpm dan kecepatan maju 0,064 m/s.

Ilustrasi kelengkapan komponen instrumentasi yang digunakan dalam pengujian model roda tipe trek bersirip di bak tanah dapat dilihat pada Gambar 4 (a). Bak tanah untuk tempat pengujian kinerja traksi model roda tipe trek bersirip sebagaimana yang tampak pada Gambar 4 (a) terdiri dari: 1) bak tanah, 2) jalur lintasan (*rail*) dan 3) tiang penopang beban. Selain bak tanah, terdapat juga peralatan lain seperti mikrokontroler, sensor-sensor pengukur, dan perekam data dalam pengujian kinerja traksi model roda tipe trek bersirip seperti yang tampak pada Gambar 4 (b).



Gambar 4. (a) Ilustrasi perlengkapan pengujian roda tipe trek bersirip di bak tanah,



Gambar 4. (b) Skema rangkaian mikrokontroler, sensor pengukur dan perekam data

2.4 Perlakuan Pengujian Pembebanan Horizontal dan Pembebanan Vertikal

Perlakuan pembebanan horizontal dilakukan dengan membuat variasi beban tarik dengan arah horizontal dari gerak roda tipe trek bersirip secara terus menerus sampai mendapatkan nilai persentase slip dari tingkatan slip rendah hingga tinggi. Variasi beban horizontal diperoleh dari pengujian pendahuluan dengan target slip 10% sampai 60% pada kondisi jarak antar sirip terjauh (jumlah sirip paling sedikit) dan tinggi sirip terkecil. Beban secara horizontal yang digunakan yaitu sebesar 1 kg, 2 kg, 3 kg, dan 4 kg, hal ini dimaksud yaitu untuk melihat peningkatan *slip* dari nilai terendah sampai tertinggi. Pembebanan divariasikan dengan mengatur beban pada wadah pemberat yang menggantung dan terhubung dengan rangka roda tipe trek bersirip pada *soil bin*.

Perlakuan pembebanan vertikal dilakukan dengan membuat variasi beban dengan arah vertikal dari gerak roda tipe trek bersirip secara terus menerus sampai mendapatkan nilai *sinkage* dari tingkatan *sinkage* rendah hingga tinggi. Variasi beban vertikal diperoleh dari pengujian pendahuluan dengan target *sinkage* dari 5 cm sampai 15 cm pada kondisi jarak antar sirip terjauh (jumlah sirip paling sedikit) dan tinggi sirip terkecil. Beban secara vertikal yang digunakan yaitu sebesar 9.5 kg, 12.5 kg, 15.5 kg, 18.5 kg, 22.7 kg, hal ini dimaksud untuk melihat peningkatan *sinkage* dari 5 cm sampai dengan 15 cm. Pembebanan divariasikan dengan menaruh beban di *center of gravity* pada rangka naik-turun yang sudah terpasang di roda tipe trek bersirip pada *soil bin*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pengukuran Karakteristik Tanah Basah Berlumpur Dalam di Bak Tanah

Tanah yang dipakai adalah tanah basah dari lahan sawah berlumpur dalam. Hasil pengukuran persentase kadar air tanah kering angin yaitu rata-rata sebesar 9.40% (basis kering). Pengujian batas cair dilakukan dengan metode Cassagrandee menghasilkan nilai rata-rata batas cair tanah sebesar 69% (basis kering). Tanah yang dikondisikan di dalam bak tanah berdasarkan tujuan penelitian yang dikehendaki yaitu tanah basah dengan kondisi tanah berada pada batas cair, maka tanah dikondisikan dengan kadar air pada batas cairnya yaitu sebesar 75% (basis kering). Komposisi campuran air dan tanah kering yang dimasukkan ke dalam *soil bin* tampak pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi campuran air dan tanah kering untuk bak tanah

Keterangan	Value	Satuan	Formula
Massa Basah Tanah Kering Angin (MBTKA)	5000	Gram	
Kadar Air Tanah Kering Angin (KATKA)	9.40 %	% bk	
Massa Padatan Tanah Kering Angin (MPTKA)	4570.51	gram	$\frac{MBTKA}{(KATKA + 1)}$
Kadar Air Tanah Yang diKondisikan (KATYK)	75 %	% bk	
Penambahan Air (PA)	2998.39	Gram	$(MPTKA \times KATYK) - (MBTKA - MPTKA)$
Massa Basah Tanah KA 75% (%bk)	7998.39	Gram	$PA + MPTKA$

Nilai densitas tanah di bak tanah yang telah diukur adalah sebesar 159.685 g/cm³. Tekstur tanah yang sudah dikondisikan di bak tanah tersebut juga diukur dengan menggunakan metode pipet yang diuji

di laboratorium pengujian Balai Penelitian Tanah (Balittanah). Hasil pengujian menunjukkan rata-rata nilai fraksi (%) dari 3 titik sampel tanah yaitu fraksi pasir 8%, fraksi debu 42% dan fraksi liat 50%. Berdasarkan penggolongan klasifikasi USDA dengan segitiga tekstur tanah maka tanah yang dikondisikan di *soil bin* merupakan tanah dengan tekstur liat berdebu (*silty clay*).

3.2 Hasil Analisa Kinerja Traksi Roda Tipe Trek Bersirip

3.2.1 Hubungan beban tarik dan beban vertikal terhadap ketenggelaman roda (*sinkage*)

Hubungan beban tarik diambil dengan tinggi sirip 5 cm, jarak antar sirip 25.4 cm, dan beban vertikal 9.5 kg seperti yang tampak pada Gambar 5 (a). Penambahan beban 1 kg, 2 kg, 3 kg, dan 4 kg menghasilkan beban tarik pada sensor *loadcell* sebesar 24.91 N, 32.7 N, 41.84 N, dan 61.4 N. Berdasarkan grafik pada Gambar 5 (a), beban tarik memiliki hubungan berbanding lurus dengan *sinkage*. Nilai koefisien determinasi (R^2) yang didapat adalah 0.8571 atau kurang dari 0.95, hal ini menunjukkan bahwa grafik yang dihasilkan adalah tidak linear. Hal ini mengakibatkan semakin besar beban tarik yang diberikan mengakibatkan semakin besar *sinkage* yang dihasilkan roda tipe trek bersirip hingga sirip roda tipe trek menyentuh dasar dengan perubahan *sinkage* yang rendah hingga tinggi. Kondisi ini diakibatkan karena sirip pada roda tipe trek menarik atau menggali tanah agar tanah memiliki tahanan yang cukup atau sama dengan tekanan yang diberikan oleh sirip untuk menggerakkan roda tipe trek bersirip ini melaju ke depan sehingga tanah yang menahan tekanan untuk roda tipe trek bersirip menjadi menurun dan menyebabkan roda tipe trek bersirip masuk ke dalam tanah. Ansorge dan Godwin (2009) menjelaskan bahwa beban tarik mampu meningkatkan *sinkage* pada seluruh tipe roda termasuk pada roda tipe trek. Peningkatan *sinkage* ini juga terjadi pada hasil penelitian yang dilakukan oleh Arvidsson *et al.* (2011) dengan menganalisa peningkatan beban tarik yang diberikan pada roda tipe trek dapat membuat *sinkage* semakin meningkat.

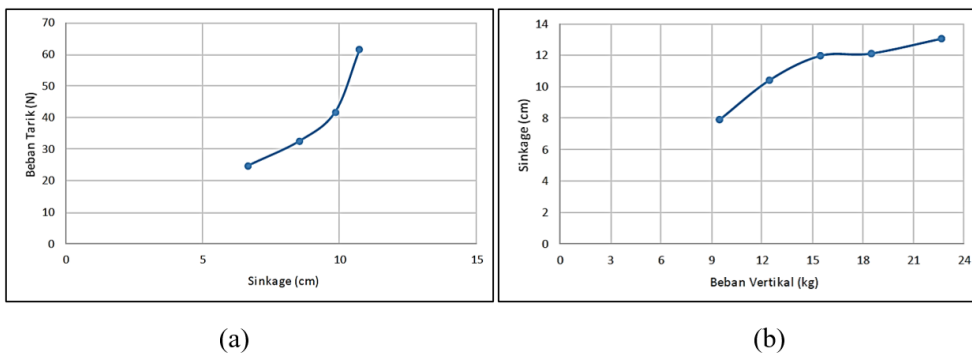
Hubungan beban vertikal diambil dengan tinggi sirip 10 cm, jarak antar sirip 19.05 cm, dan penambahan beban tarik 3 kg. Beban vertikal menunjukkan hubungan linear dan berbanding lurus dengan *sinkage*. Grafik yang dihasilkan memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.9783. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar beban vertikal yang diberikan maka akan menyebabkan semakin besar *sinkage* yang dihasilkan oleh roda tipe trek bersirip. Kondisi ini diakibatkan karena gaya yang diberikan sejajar dengan *sinkage*. Beban vertikal yang meningkat membutuhkan gaya angkat yang besar untuk menjaga *sinkage* agar tidak terlalu tenggelam, tetapi tahanan tanah yang kurang menyebabkan *sinkage* akan terus meningkat seiring roda bergerak pada beban vertikal yang sama sampai berkontak dengan tanah yang memiliki tahanan yang lebih tinggi. Ansorge dan Godwin (2009) menjelaskan bahwa beban kendaraan berkontribusi dalam menyebabkan semakin meningkatnya *sinkage*, semakin besar beban peralatan mekanis maka akan menyebabkan semakin bertambahnya kedalaman tanah.

3.2.2 Hubungan tinggi sirip dan jarak antar sirip terhadap *sinkage*

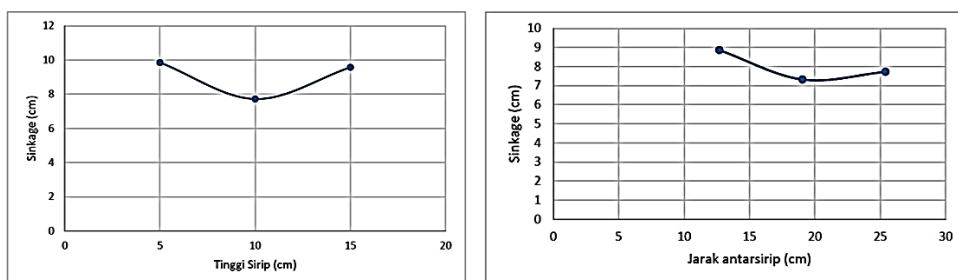
Hubungan tinggi sirip diambil dengan jarak antar sirip 25.4 cm, beban vertikal 9.5 kg, dan penambahan beban tarik 3 kg. Tinggi sirip tidak menunjukkan hubungan linear terhadap *sinkage*. Tinggi sirip 5 cm menunjukkan *sinkage* yang tinggi karena sirip yang tidak terlalu menahan roda tipe trek bersirip ke bagian dalam tanah dan kurangnya gaya tanah yang mengakibatkan sirip terus

mendorong tanah ke belakang roda tipe trek bersirip sehingga tahanan tanah berkurang dan menyebabkan roda tipe trek bersirip masuk ke dalam tanah. Nilai *sinkage* pada ukuran tinggi sirip 15 cm menunjukkan nilai yang tinggi karena sirip yang masuk terlalu dalam dan memotong tahanan tanah. Gerakan sirip yang mendayung menyebabkan tanah yang terdorong/ mengalir menjadi banyak walaupun tidak membutuhkan gerakan mendorong yang berulang. Oleh karena itu, tinggi sirip optimum yang didapat berdasarkan nilai *sinkage* adalah 10 cm. Culshaw (1988) menjelaskan bahwa dimensi sirip (*grouser*) mempengaruhi peningkatan pada kedalaman *sinkage*, semakin tinggi dimensi *grouser* maka menyebabkan semakin besar tanah yang akan tergerus sehingga membuat kondisi roda akan mengalami ketenggelaman.

Hubungan jarak antar sirip diambil dengan tinggi sirip 10 cm, beban vertikal 9.5 kg, dan penambahan beban tarik 3 kg. Jarak antar sirip tidak menunjukkan hubungan linear terhadap *sinkage*. Jarak antar sirip menunjukkan banyaknya sirip yang terdapat pada roda tipe trek bersirip. Kondisi ini yang mempengaruhi gaya angkat pada sirip depan yang masuk ke dalam tanah. Pada jarak antar sirip 19.05 cm terjadi penurunan *sinkage* dengan gaya angkat pada sirip depan bekerja secara optimal, namun terjadi peningkatan *sinkage* pada jarak antar sirip 12.70 cm. Hal ini disebabkan oleh tanah pada bak yang terbatas oleh bak tanah, sehingga tanah yang terdayung oleh sirip menjadi banyak. Tanah bagian depan roda tipe trek bersirip yang terdayung secara berulang menyebabkan luas kontak sirip depan dan tanah menjadi kecil, sehingga pengaruh gaya angkat roda tipe trek bersirip oleh gerakan sirip tidak dapat menjaga *sinkage*. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh jarak antar sirip optimum adalah 19.05 cm.



Gambar 5. (a) Hubungan beban tarik dan *sinkage* pada beban vertikal 9.5 kg, tinggi sirip 5 cm, jarak antar sirip 25.4 cm, (b) Hubungan beban vertikal dan *sinkage* pada penambahan beban tarik 3 kg; tinggi sirip 10 cm; dan jarak antar sirip 19.05 cm

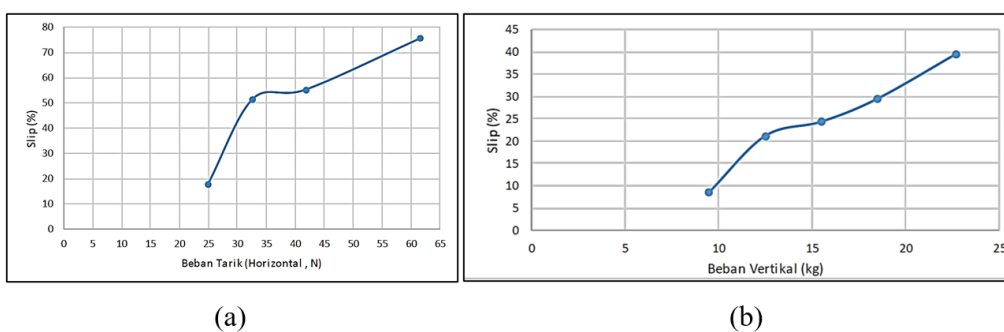


Gambar 6. Penentuan tinggi sirip dan jarak antar sirip optimum berdasarkan *sinkage* pada penambahan beban tarik 3 kg dan beban vertikal 9.5 kg

3.2.3 Hubungan Beban Tarik dan Beban Vertikal terhadap Slip Roda

Peningkatan beban tarik berbanding lurus dengan slip roda. Berdasarkan grafik pada Gambar 7 (a), terlihat bahwa perbandingan lurus tidak menghasilkan persamaan yang linear karena nilai koefisien determinasi (R^2) yang didapat bernilai 0.8304 atau kurang dari 0.95. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan beban tarik dapat menyebabkan peningkatan yang sangat rendah atau dapat menyebabkan peningkatan yang sangat tinggi hingga slip roda mencapai 100% (*spin out*). Ketika slip roda maksimal tercapai, peningkatan beban tarik tidak akan menyebabkan peningkatan slip roda. Kondisi berbanding lurus diakibatkan oleh peningkatan beban tarik yang menyebabkan peningkatan gaya tekan sirip arah horizontal atau sejajar dengan arah gerak roda tipe trek bersirip. Peningkatan gaya tekan ini menyebabkan sirip akan terus menekan tanah hingga tanah memberikan tahanan yang sama dengan tekanan yang diberikan sirip. Hal ini menyebabkan roda tipe trek bersirip menjadi berputar di tempat tanpa menyebabkan roda tipe trek bersirip ini bergerak secara horizontal. Schreiber dan Kutzbach (2007) menjelaskan bahwa kondisi slip akan menjadi 0% pada roda dengan jenis trek dengan cara pengurangan beban tarik. Berdasarkan Gambar 7 (a), beban tarik yang menghasilkan slip roda kurang dari 60% adalah beban tarik yang terbaca oleh sensor *loadcell* kurang atau sama dengan 41.84 N.

Peningkatan beban vertikal berbanding lurus dengan slip roda. Berdasarkan grafik pada Gambar 7 (b), persamaan linear yang terbentuk menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.9843. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan beban vertikal dapat menyebabkan peningkatan slip roda hingga slip roda mencapai 100%. Ketika slip roda maksimal tercapai, peningkatan beban vertikal tidak akan menyebabkan peningkatan slip roda. Kondisi berbanding lurus diakibatkan peningkatan beban vertikal yang menyebabkan roda tipe trek bersirip tenggelam. Hal ini menyebabkan tanah terbawa sirip dan berada di atas roda tipe trek bersirip. Berdasarkan arah gaya yang terbentuk, tanah yang berada di atas roda tipe trek bersirip akan terkena sirip dan menghambat pergerakan roda tipe trek bersirip untuk melaju sehingga menambah beban tariknya. Yan *et al.* (2012) menjelaskan bahwa dimensi roda tipe trek yang semakin besar dapat mempengaruhi peningkatan slip sebagai akibat dari peningkatan beban vertikal yang dihasilkan. Berdasarkan grafik pada Gambar 7 (b), beban vertikal yang menghasilkan slip roda kurang dari 60% adalah beban vertikal yang kurang dari 37.26 kg atau 365,52 N.

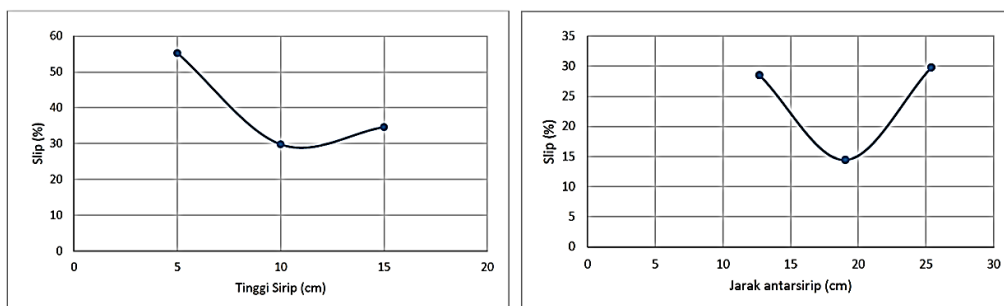


Gambar 7. (a) Hubungan beban tarik dan slip roda pada beban vertikal 9.5 kg, tinggi sirip 5 cm, dan jarak antar sirip 25.4 cm, (b) Hubungan beban vertikal dan slip roda pada penambahan beban tarik 3 kg, tinggi sirip 10 cm, dan jarak antar sirip 19.05 cm

3.2.4 Hubungan Tinggi Sirip dan Jarak Antar Sirip terhadap Slip Roda

Variasi tinggi sirip tidak menunjukkan perbandingan dan persamaan yang linear. Tinggi sirip memiliki pengaruh terhadap slip roda yang dihasilkan. Tinggi sirip akan membantu roda tipe trek bersirip untuk meningkatkan tahanan tanah sehingga roda tipe trek bersirip tidak berputar berlebihan untuk mendapatkan tahanan tanah yang sama dengan gaya tekan sirip. Berdasarkan grafik pada Gambar 8, penggunaan tinggi sirip 10 cm menghasilkan slip roda yang rendah tetapi penggunaan tinggi sirip 15 cm menghasilkan slip roda yang lebih tinggi daripada tinggi sirip 10 cm. Slip roda yang lebih tinggi ini diakibatkan oleh peningkatan *sinkage* yang melebihi poros depan trek sebesar 8.5 cm. Kondisi ini menyebabkan gaya *drag* tanah yang menghambat roda trek bergerak maju lebih tinggi. Gaya *drag* tersebut searah dengan gaya tarik yang dapat menyebabkan gaya tekan pada roda tipe trek bersirip dengan sirip 15 cm menjadi lebih besar dibandingkan dengan gaya tekan roda tipe trek bersirip dengan sirip 10 cm. Hal ini serupa dengan hasil analisa Zhang *et al.* (2017) yang menjelaskan bahwa dimensi sirip (*grouser*) kurang dari 10 cm akan membuat kondisi slip roda trek menjadi menurun, sebaliknya apabila sirip (*grouser*) pada roda trek memiliki dimensi lebih dari 10 cm maka akan terjadi peningkatan slip. Berdasarkan grafik pada Gambar 8, tinggi sirip optimum yang diperoleh adalah 10 cm, sementara tinggi sirip yang kurang atau lebih dari 10 cm akan menyebabkan peningkatan slip roda.

Variasi jarak antar sirip tidak menunjukkan perbandingan dan persamaan yang linear. Jarak antar sirip akan mempengaruhi jumlah sirip yang aktif sehingga membantu roda tipe trek bersirip untuk meningkatkan akumulasi tahanan tanah. Hal tersebut menyebabkan roda tipe trek bersirip menjadi tidak berputar berlebihan untuk mendapatkan tahanan tanah yang sama dengan gaya tekan sirip. Berdasarkan grafik pada Gambar 9, penggunaan jarak antar sirip 19.05 cm menghasilkan slip roda yang lebih rendah dibandingkan penggunaan jarak antar sirip 12.70 cm. Jarak antar sirip yang terlalu pendek menyebabkan tahanan tanah tidak bekerja pada keseluruhan sirip. Tahanan tanah tidak bekerja dengan optimal karena pergerakan tanah tidak cepat untuk masuk ke dalam celah antar sirip untuk memberi tahanan tanah yang optimal. Berdasarkan grafik pada Gambar 8, jarak antar sirip optimum yang diperoleh adalah 19.05 cm, sementara jarak antar sirip yang kurang atau lebih dari 19.05 cm akan menyebabkan peningkatan slip roda.

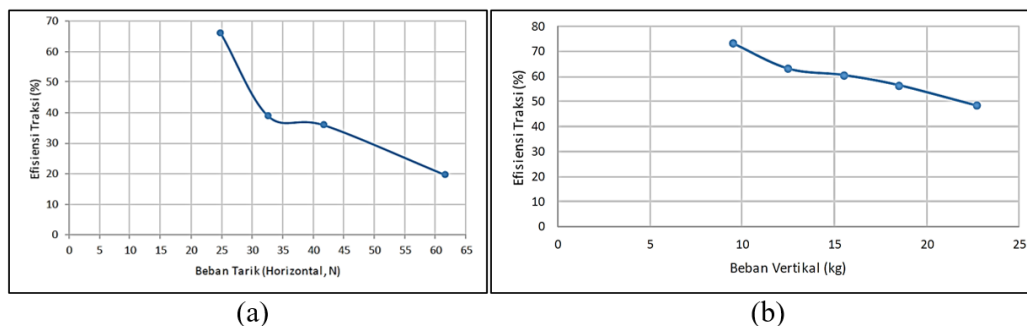


Gambar 8. Penentuan tinggi sirip dan jarak antar sirip optimum berdasarkan slip roda pada penambahan beban tarik 3 kg dan beban vertikal 9.5 kg

3.2.5 Hubungan Beban Tarik dan Beban Vertikal terhadap Efisiensi Traksi

Peningkatan beban tarik berbanding terbalik dengan efisiensi traksi. Berdasarkan grafik pada Gambar 9 (a), perbandingan ini tidak menghasilkan persamaan yang linear karena R^2 yang diperoleh bernilai 0.8299 atau kurang dari 0.95. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan beban tarik dapat menyebabkan penurunan yang sangat rendah atau dapat menyebabkan penurunan yang sangat tinggi hingga efisiensi traksi mencapai 0%. Kondisi serupa juga dijelaskan oleh Ansorge dan Godwin (2009) yang menyatakan bahwa efek dari peningkatan beban tarik pada roda tipe trek akan mengakibatkan penurunan pada efisiensi traksi. Efisiensi traksi minimum menandakan bahwa gaya gesek maksimum antara roda tipe trek bersirip dan tanah tidak dapat menghindari slip. Kondisi berbanding terbalik diakibatkan dari peningkatan beban tarik yang menyebabkan peningkatan gaya tekan sirip arah horizontal atau sejajar dengan arah gerak roda tipe trek bersirip. Peningkatan gaya tekan ini menyebabkan torsi masukan pada poros roda tipe trek bersirip menjadi meningkat. Peningkatan nilai torsi tersebut diamati dengan menggunakan sensor *strain gauge* yang ditempelkan pada poros penggerak roda lalu dengan dihubungkan pada alat strain amplifier yang terintegrasi dengan mikrokontroler arduino ke komputer seperti yang terlihat pada Gambar 4 (b). Pada pengamatan data hasil pengukuran terlihat bahwa pada nilai torsi terendah sebesar 0.5 N.m dan kecepatan maju roda terbesar sebesar 0.03 m/s menghasilkan nilai efisiensi traksi yang tertinggi yaitu sebesar 66%, dan jika nilai torsi meningkat menjadi sebesar 1.2 N.m dan kecepatan maju roda menurun menjadi sebesar 0.01 m/s maka akan menyebabkan efisiensi traksi menurun menjadi 19%. Penelitian serupa oleh Molari *et al.* (2012) juga menunjukkan kesamaan hasil peningkatan kinerja traksi pada roda tipe trek seiring dengan penurunan torsi dan bertambahnya kecepatan maju roda. Berdasarkan Gambar 9 (a), beban tarik yang menghasilkan efisiensi traksi lebih dari 60% adalah beban tarik yang terbaca oleh sensor *loadcell* sama atau kurang dari 24.91 N.

Peningkatan beban vertikal berbanding terbalik dengan efisiensi traksi. Berdasarkan grafik pada Gambar 9 (b), perbandingan membentuk persamaan linear yang menghasilkan koefisien determinasi (R^2) bernilai 0.9605. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan beban tarik dapat menyebabkan penurunan hingga efisiensi traksi mencapai 0%. Kondisi berbanding terbalik diakibatkan peningkatan beban vertikal yang menyebabkan peningkatan gaya tekan roda tipe trek bersirip searah dengan gaya normal sehingga gaya gesek yang searah dengan beban tarik akan menghambat roda tipe trek bersirip bergerak maju. Peningkatan gaya ini menyebabkan torsi masukan meningkat, selain itu peningkatan gaya tekan ini menyebabkan roda tipe trek bersirip berputar semakin cepat sehingga tanah terdorong dan memberikan tahanan tanah yang sama dengan gaya tekan sirip. Sehubungan dengan hal tersebut, Molari *et al.* (2015) menjelaskan bahwa kondisi tanah yang buruk juga dapat menjadi faktor yang berperan dalam penurunan efisiensi traksi pada roda tipe trek, tanah dengan tekstur yang sangat liat akan melekat ke roda trek sehingga membuat roda trek memberikan gaya tekan/ penetrasi yang lebih besar ke dalam tanah. Torsi dan kecepatan putar motor berbanding terbalik dengan efisiensi traksi, jika torsi dan kecepatan putar motor meningkat maka efisiensi traksi menjadi menurun. Berdasarkan Gambar 9 (b), beban vertikal yang menghasilkan efisiensi traksi lebih besar dari 60% adalah beban vertikal yang sama atau kurang dari 15.5 kg atau 152.06 N.

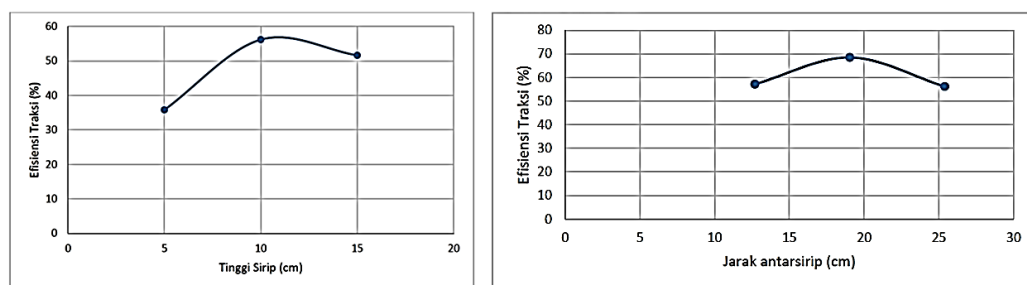


Gambar 9. (a) Hubungan beban tarik dan efisiensi traksi pada beban vertikal 9.5 kg, tinggi sirip 5 cm, dan jarak antar sirip 25.4 cm, (b) Hubungan beban vertikal dan efisiensi traksi pada penambahan beban tarik 3 kg, tinggi sirip 10 cm, dan jarak antar sirip 19.05 cm

3.2.6 Hubungan Tinggi Sirip dan Jarak Antar Sirip terhadap Efisiensi Traksi

Kecepatan maju trek mengalami penurunan dengan semakin berkurangnya tinggi sirip pada roda tipe trek bersirip berdasarkan Tabel 2. Kecepatan maju menurun diakibatkan oleh slip roda yang menyebabkan tidak terjadinya perubahan jarak tempuh secara aktual. Kecepatan maju roda tipe trek bersirip berbanding lurus dengan tinggi sirip, sehingga penambahan tinggi sirip akan meningkatkan kecepatan maju roda tipe trek bersirip.

Torsi berbanding lurus dengan tinggi sirip, sehingga penambahan tinggi sirip menyebabkan peningkatan torsi. Nilai torsi meningkat dapat terjadi karena tinggi sirip menyebabkan peningkatan luas kontak sirip dengan tanah, sehingga meningkatkan tahanan tanah atau gaya reaksi tanah. Peningkatan torsi pada penggunaan tinggi sirip 10 cm dan 15 cm tidak ada perubahan yang signifikan atau beda nyata (< 5%). Hal ini menunjukkan bahwa tinggi sirip 15 cm menyebabkan adanya sejumlah sirip yang tidak terkena tahanan tanah secara maksimal. Hal tersebut disebabkan oleh sirip yang mendorong sebagian tahanan tanah masuk ke belakang roda tipe trek bersirip. Nilai efisiensi traksi meningkat pada tinggi sirip 10 cm, namun menjadi menurun pada ukuran sirip 15 cm. Gaya tarik dan putaran motor berkaitan dengan penentuan besaran slip roda dan *sinkage*. Pengaruh *drawbar pull* yang besar dan kecepatan maju traktor yang tinggi dapat membuat peningkatan pada kinerja traksi sebagaimana yang dijelaskan oleh Ansorge dan Godwin (2007, 2008, 2009). Slip roda dan *sinkage* yang tinggi dapat mengurangi nilai efisiensi traksi. Gambar 10 menunjukkan bahwa tinggi sirip optimum yang diperoleh adalah 10 cm berdasarkan nilai efisiensi traksi.



Gambar 10. Penentuan tinggi sirip dan jarak antar sirip optimum berdasarkan efisiensi traksi pada penambahan beban tarik 3 kg dan beban vertikal 9.5 kg

Peningkatan kecepatan maju roda trek dan torsi terjadi ketika jarak antar sirip diubah dari 25.4 cm menjadi 19.05 cm, akan tetapi terjadi penurunan ketika jarak antar sirip diubah menjadi 12.70 cm. Jika ditinjau berdasarkan hubungan kecepatan maju dan torsi dengan tinggi sirip, penurunan nilai kecepatan maju dan torsi pada Tabel 2 terjadi karena tahanan tanah hilang saat jarak antar sirip 12.70 cm akibat tanah tidak dapat menyebar keseluruh sirip berdasarkan jumlahnya maupun ketinggiannya dan akan terus menurun ketika jarak antar sirip semakin diperkecil. Data pada Tabel 2 juga menunjukkan bahwa slip roda dan *sinkage* dapat meningkat kembali dengan penurunan jarak antar sirip. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan jarak antar sirip dapat menghasilkan efisiensi traksi yang lebih tinggi pada roda tipe trek bersirip dengan desain jarak antar sirip yang tepat. Nilai efisiensi traksi terlihat meningkat pada jarak antar sirip 25.4 cm ke jarak antar sirip 19.05 cm, namun menjadi menurun kembali pada jarak antar sirip 12.70 cm. Hal ini disebabkan oleh jarak antar sirip yang semakin rapat dapat membuat slip roda dan *sinkage* menjadi meningkat berdasarkan data pengukuran.

Tabel 2. Kinerja roda trek bersirip berdasarkan variasi tinggi sirip dan jarak antar sirip

Parameter	Tinggi Sirip (cm)			Jarak Antar Sirip (cm)		
	5	10	15	25.4	19.05	12.70
Kecepatan maju (m/s)	0.023	0.031	0.035	0.031	0.039	0.032
<i>Sinkage</i> (cm)	9.85	7.72	9.57	7.72	7.32	8.86
Slip (%)	55.25	29.8	34.6	29.8	14.43	28.52
Torsi (N.m)	0.859	0.991	0.997	0.991	1.059	0.983
Efisiensi traksi (%)	35.8	56.16	51.62	56.16	68.46	57.16

4. Kesimpulan

Beban tarik dan beban vertikal memiliki pengaruh yang besar terhadap ketenggelman roda (*sinkage*), slip roda, dan efisiensi traksi. Beban tarik dan beban vertikal berbanding lurus dengan *sinkage* dan slip roda, tetapi berbanding terbalik dengan efisiensi traksi. Tinggi sirip dan jarak antar sirip optimum pada penggunaan beban vertikal 9.5 kg dan penambahan beban tarik 3 kg dihasilkan oleh roda tipe trek bersirip dengan dimensi tinggi sirip 10 cm dan lebar sirip 20 cm dengan jarak antar sirip 19.05 cm. Tinggi sirip dan jarak antar sirip optimum menghasilkan nilai *sinkage* 7.32 cm, slip roda 14.43%, dan efisiensi traksi 68.46%.

5. Daftar Pustaka

- Ansorge D, Godwin RJ. 2007. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction, Part 1: Single axle-studies. *Biosyst. Eng.* 98:115-26. doi:10.1016/j.biosystemseng.2007.06.005.
- Ansorge D, Godwin RJ. 2008. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction - Part 2: Multi-axle machine studies. *Biosyst. Eng.* 99:338-47. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2007.11.014
- Ansorge D, Godwin RJ. 2009. The effect of tyres and a rubber track at high axle loads on soil compaction: part 3: comparison of virgin compression line approaches. *Biosyst. Eng.* 104:278-87. doi:10.1016/j.biosystemseng.2009.06.024
- Arvidsson J, Westlin H, Keller T, Gilbertsson M. 2011. Rubber track systems for conventional tractors - Effects on soil compaction and traction. *Soil Till. Res.* 117:103-9. doi:10.1016/j.still.2011.09.004

- Culshaw, D. 1988. Rubber tracks for traction. *Journal of Terramechanics*. Vol. 25, No. 1, pp. 69-80. doi:10.1016/0022-4898(88)90063-8
- Hermawan, W., Oida, A., Yamazaki, M. 1998. Design and traction performance of the movable lug wheel. *Journal of Terramechanics*. 35 (3): 159-177. doi:10.1016/S0022-4898(98)00020-2
- Hermawan, W., Suastawa, I.N., Sudianto, D. 2001. Traction Performance of Movable Lug Wheel with Spring Mechanism and Rubber Lug. *Journal of ISSAAS*, 7 (1): 58-77.
- Hermawan, W. 2009. Aplikasi pengukuran tahanan tanah terhadap penekanan plat dalam penentu parameter desain roda besi bersirip. *Jurnal Keteknik Pertanian*. 23 (2): 71-78. doi:10.19028/jtep.023.2.25p
- Mandang, T., Nishimura, I. 1991. Hubungan Tanah dan Alat Pertanian. JICA-DGHE/IPB PROJECT/ADAET: JTA-9a (132). Proyek Peningkatan Perguruan Tinggi, IPB. Bogor.
- Molari G, Bellentani L, Guarnieri A, Walker M, Sedoni E. 2012. Performance of an agricultural tractor fitted with rubber tracks. *Biosyst. Eng.* 111:57-63. doi:10.1016/j.biosystemseng.2011.10.008
- Rasool, S, dan Raheman, H. 2015. Improving the Tractive Performance of Walking Tractors Using Rubber Tracks. *Biosystems Engineering*, 167, 51-62. doi:10.1016/j.biosystemseng.2017.12.013
- Rizaldi, T. 2015. Metode Disain Optimum Roda Besi Bersirip untuk Lahan Sawah [disertasi]. S.Ps IPB. Bogor.