

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

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

Vol. 7, No. 1, April 2019



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 Ristek 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 bulan April, Agustus dan Desember, berisi 15 naskah untuk setiap nomornya baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Mulai edisi ini ada perubahan dan penambahan anggota Dewan Redaksi jurnal berdasarkan SK Nomor 01/ KEP/KP/I/2019 yang dimaksudkan untuk meningkatkan pelayanan dan pengelolaan naskah sehingga penerbitannya tepat waktu. 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 meliputi 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 Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi
Pertanian, IPB Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia

Dewan Redaksi:

Ketua : Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, IPB University)
Anggota : Abdul Hamid Adom (Scopus ID: 6506600412, University Malaysia Perlis)
(*editorial board*) Addy Wahyudie (Scopus ID: 35306119500, United Arab Emirates University)
Budi Indra Setiawan (Scopus ID: 55574122266, IPB University)
Balasuriya M.S. Jinendra (Scopus ID: 30467710700, University of Ruhuna)
Bambang Purwantana (Scopus ID: 6506901423, Universitas Gadjah Mada)
Bambang Susilo (Scopus ID: 54418036400, Universitas Brawijaya)
Daniel Saputera (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya)
Han Shuqing (Scopus ID: 55039915600, China Agricultural University)
Hiroshi Shimizu (Scopus ID: 7404366016, Kyoto University)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana)
Agus Arif Munawar (Scopus ID: 56515099300, Universitas Syahkuala)
Armansyah H. Tambunan (Scopus ID: 57196349366, IPB University)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, IPB University)
M. Rahman (Scopus ID: 7404134933, Bangladesh Agricultural University)
Machmud Achmad (Scopus ID: 57191342583, Universitas Hasanuddin)
Muhammad Makky (Scopus ID: 55630259900, Universitas Andalas)
Muhammad Yulianto (Scopus ID: 54407688300, IPB University & Waseda University)
Nanik Purwanti ((Scopus ID: 23101232200, IPB University & Teagasc
Food Research Center Irlandia)
Pastor P. Garcia (Scopus ID: 57188872339, Visayas State University)
Rosnah Shamsudin (Scopus ID: 6507783529, Universitas Putra Malaysia)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin)
Sate Sampattagul (Scopus ID: 7801640861, Chiang Mai University)
Subramaniam Sathivel (Scopus ID: 6602242315, Louisiana State University)
Shinichiro Kuroki (Scopus ID: 57052393500, Kobe University)
Siswoyo Soekarno (Scopus ID: 57200222075, Universitas Jember)
Tetsuya Araki (Scopus ID: 55628028600, The University of Tokyo)
Tusan Park (Scopus ID: 57202780408, Kyungpook National University)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)
Bendahara : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, IPB University)
Anggota : Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, IPB University)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, IPB University)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, IPB University)
Leopold Oscar Nelwan (Scopus ID: 56088768900, IPB University)
I Wayan Astika (Scopus ID: 43461110500, Institut Pertanian Bogor)
Agus Ghautsun Niam (Scopus ID: 57205687481, IPB University)
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, 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. 7 No. 1 April 2019. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Slamet Budijanto, M.Agr (Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Edward Saleh, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Dr. Bambang Haryanto, MS. (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), Dr.Ir. Hermantoro, MS. (INSTIPERYogyakarta), Dr.Ir. I Wayan Astika, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lenny Saulia, STP, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastra, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr. Satyanto Krido Saptomo, STP, M.Si (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Yuli Suharnoto, M.Eng (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Roh Santoso Budi Waspodo, MT (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Arief Sabdoyuwono, M.Sc (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Instiut Pertanian Bogor), Dr. Radi, STP, M.Eng. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Andri Prima Nugroho, STP, M.Sc, Ph.D. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr. Sri Rahayoe, STP, MP. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Diding Suhandy, STP, M.Agr, Ph.D (Jurusan Teknik Pertanian. Universitas Lampung), Eni Sumarni, STP, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman), Dr. Noor Roufiq Ahmadi, STP, MP (Pusat Penelitian dan Pengembangan Hortikultura), Dr. Kurniawan Yuniarto, STP, MP (Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri Universitas Mataram), Dr. Andasuryani, STP, M.Si (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Moh. Agita Tjandra, M.Sc, Ph.D (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas).

Technical Paper

Desain Ergonomis Sistem Penggandengan *Trailer* pada Traktor Roda Dua

Ergonomic Design of Trailer Hitching System for Two Wheel Tractor

Muhammad Dhafir, Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Syiah Kuala.

Email: m.dhafir2001@gmail.com

Tineke Mandang, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: tineke_mandang_2003@yahoo.com

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: wawanfateta@yahoo.co.id

Muhammad Faiz Syuaib, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Email: mfsyuaib@yahoo.com

Abstract

The existing hitch system which pulled trailer on the two-wheel tractor had disadvantages when turning it, the tractor handlebar moved away from operator control, consequently the handlebar position is already beyond the operator control range so the operator had to bend. For a larger radius turning, the operator had to descend from operator seat. The purpose of this study was to design an ergonomic trailer hitching system for Indonesian operator. Prototype tests carried out include performance and functional testing. The pivot type trailer hitching system was the most superior type compare to the other concept. With the design of this system the operator's position is fixed to the handlebars of the two-wheeled tractor, both in straight and turn operations, so that the operator can fully control the two-wheeled tractor along with all the control levers. The ideal dimension of the operator seat were seat height of 410 mm, backrest distance of 1700 mm, seat length of 320 mm, and seat width of 300 mm. Two-wheel tractor with pivot type trailer hitching system has a turning radius of 2.18 m - 2.82 m better than existing system of 3.72 m - 4.03 m.

Keywords : trailer hitching system, two wheel tractor, pivot, ergonomic

Abstrak

Sistem penggandengan konvensional untuk menarik *trailer* pada traktor roda dua memiliki kelemahan pada saat berbelok, stang traktor bergerak menjauh dari posisi kendali operator, akibatnya posisi stang sudah berada di luar kendali jangkauan operator sehingga operator harus membungkuk. Untuk belokan dengan sudut yang lebih besar operator harus turun dari tempat duduk operator untuk dapat mengendalikan traktor. Tujuan penelitian adalah untuk mendesain sistem penggandengan *trailer* yang ergonomis untuk operator Indonesia. Pengujian-pengujian prototipe yang dilakukan meliputi pengujian kinerja dan fungsional. Sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot* merupakan yang paling unggul dibandingkan dengan konsep-konsep lainnya. Dengan desain sistem ini posisi operator adalah tetap terhadap alat-alat kendali traktor, baik dalam keadaan berjalan lurus maupun berbelok, sehingga operator dapat sepenuhnya mengendalikan traktor roda dua beserta semua tuas-tuas kendalinya. Dimensi-dimensi ideal tempat duduk operator (*seat*) adalah tinggi tempat duduk (*Td*) 410 mm, jarak sandaran duduk (*Jd*) 1700 mm, panjang tempat duduk (*Pd*) 320 mm, dan lebar tempat duduk (*Ld*) 300 mm. Traktor roda dua dengan sistem penggandengan tipe *pivot* memiliki radius putar 2.18 m – 2.82 m, lebih baik dibandingkan sistem konvensional yaitu 3.72 m – 4.03 m.

Kata kunci : sistem penggandengan *trailer*, traktor roda dua, *pivot*, ergonomi

Diterima: 16 Januari 2019; Disetujui: 11 April 2019

Pendahuluan

Di Indonesia traktor roda dua dalam pengoperasiannya digunakan untuk berbagai macam pekerjaan, yaitu pengolahan tanah, sebagai alat transportasi (menarik *trailer*), dan kegiatan budidaya pertanian lainnya. Traktor roda dua sebagai alat transportasi digunakan untuk mengangkut mulai dari bibit, pupuk, peralatan, dan berbagai macam hasil pertanian.

Menurut Nafchi *et al.* (2011), tentang pengoperasian traktor roda dua yang digandeng dengan *trailer*, disampaikan bahwa desain stang kemudi yang dipasang pada badan traktor mempunyai kelemahan ketika digunakan untuk menarik *trailer*. Ketika traktor berjalan pada permukaan yang tidak rata maka stang kemudi akan ikut bergerak naik dan turun dari posisi kendali operator mengikuti gerakan badan traktor. Pada saat berbelok stang traktor menjauh dari posisi kendali operator karena stang sudah membelok mengikuti badan traktor sementara *trailer* yang menjadi tempat duduk operator belum berbelok, akibatnya posisi stang sudah berada di luar jangkauan kendali operator sehingga operator harus membungkuk untuk dapat meraih kedua genggaman kendali stang traktor. Untuk belokan dengan sudut yang lebih besar operator sering kali harus turun dari tempat duduk operator untuk dapat mengendalikan traktor. Kondisi-kondisi ini dapat menyebabkan kelelahan, ketidaknyamanan, kesulitan, bahkan mungkin kecelakaan kerja bagi operator.

Untuk mengatasi masalah-masalah ini, Raskarowana (2016) telah melakukan penelitian yaitu dengan memodifikasi ukuran-ukuran stang kemudi serta letak tempat duduk operator. Hasilnya menunjukkan untuk gerak lurus dan belok $<45^{\circ}$ (yaitu sudut yang terbentuk antara traktor dengan *trailer* dengan sumbu putarnya pada *hitch point* ketika membelok, lebih kecil dari 45°) mempunyai nilai RULA 3 untuk ketiga persentil (5%, 50%, dan 95%), yang artinya desain tersebut masih dapat diterima, sedangkan untuk gerakan belok $>45^{\circ}$ belum bisa mengatasi masalah-masalah tersebut di atas. Oleh karena itu diperlukan modifikasi lanjutan yaitu terhadap sistem penggandengannya sehingga desain yang dihasilkan adalah stang kemudi yang tidak berubah terhadap posisi operator baik pada saat traktor roda dua bergerak lurus maupun berbelok.

Beberapa penelitian yang terkait dengan penelitian ini dan telah dilakukan sebelumnya, di antaranya Syuaib (2015a) melakukan penelitian untuk mendapatkan data-data antropometri petani Indonesia baik pria maupun wanita. Berdasarkan data-data tersebut telah dilakukan penyempurnaan desain alat-alat tradisional dan peralatan yang biasa digunakan untuk operasi pertanian padi yaitu cangkul dan perontok padi manual. Syuaib (2015b) telah melakukan penelitian studi gerak dan postur terhadap pemanen kelapa sawit manual. Hasil penilaian postur tubuh dengan metode RULA mengungkapkan bahwa

kerja tersebut diluar rentang yang aman. Simulasi-simulasi gerak kerja menghasilkan prosedur kerja yang dapat meminimalkan postur tidak aman dan gangguan *musculoskeletal disorders* (MSD). Dewangan (2010) telah mengumpulkan data antropometri pekerja laki-laki lokal di timur laut India. Data-data tersebut telah digunakan untuk mendesain alat dan mesin pertanian untuk petani lokal yaitu *sprayer*, *power thresher*, dan *pedal thresher*. Taswiyah (2009) telah melakukan identifikasi beberapa produk traktor tangan yang digandeng dengan *trailer*. Hasil menunjukkan posisi dan ukuran-ukuran alat kendali berada pada daerah maksimum operator. Yadaf *et al.* (2010) telah melakukan studi parameter kekuatan dalam desain peralatan pertanian yang dioperasikan secara manual. Data-data parameter kekuatan ini sangat berguna untuk mendesain peralatan yang dapat menambah kenyamanan, keamanan, dan efisiensi bagi operator.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain sistem penggandeng *trailer* pada traktor roda dua yang ergonomis untuk operator Indonesia dan menguji kinerjanya.

Metode Penelitian

Alat dan Bahan

Peralatan yang diperlukan pada penelitian ini terdiri dari peralatan perancangan dan pembuatan prototipe serta instrumen ukur untuk pengujian. Analisis perancangan dan ergonomi dilakukan menggunakan *software SolidWork 2016* dan *software Catia V5*. Traktor roda dua yang digunakan adalah Yanmar model Bromo DX daya 8.5 HP, panjang 2640 mm, lebar 765 mm, tinggi 1060 mm, dan berat 250 kg sedangkan *trailer* yang digunakan adalah *trailer* konvensional rakitan dengan panjang 1200 mm, lebar 900 mm dan tinggi 800 mm. Pembuatan prototipe dilakukan di bengkel dengan bahan-bahan yang diperlukan yaitu besi *hollow* ASTM 36, besi poros S45C, besi *plat* ASTM 36, besi siku ST 37, baut dan mur. Pengujian kinerja prototipe menggunakan instrumen dan alat ukur seperti: meteran, penggaris, jangka sorong, *stopwatch*, timbangan kapasitas 150 kg, dan kamera digital 18MP.

Tahapan Desain

Berikut kriteria-kriteria perancangan yang ingin dicapai

1. Kriteria ergonomis yaitu desain sistem penggandeng *trailer* untuk traktor roda dua yang sesuai dengan antropometri operator laki-laki dewasa Indonesia serta aman dan nyaman untuk dioperasikan sesuai dengan kriteria RULA.
2. Kriteria teknis yaitu kemudahan pembuatan dan kestabilan dalam pengoperasian
3. Kriteria ekonomis yaitu keterjangkauan biaya pembuatan dan pengoperasian.

Setelah dievaluasi melalui metode matriks keputusan diperoleh dua konsep desain di luar sistem penggandeng konvensional, yaitu: a) sistem stang kemudi yang dapat dibongkar pasang (*knock down*), dan b) sistem penggandeng *trailer* tipe *pivot* seperti ditunjukkan pada Gambar 1.

Konsep A adalah sistem *knock down* yaitu stang kemudi yang dipasang pada badan traktor roda dua ketika pengoperasian pengolahan tanah dan dapat dibongkar untuk dipasang pada batang penggandeng *trailer* ketika traktor akan digunakan menarik *trailer*. Dengan sistem ini, stang kemudi selalu berada pada jangkauan operator saat traktor membelok. Namun demikian, karena tuas pemindah gigi transmisi melekat pada badan (*gear box*) traktor, dan kopling utama traktor terhubung dengan batang tarik kaku ke puli utama pada *gear box* traktor, maka diperlukan banyak penyesuaian dan perubahan konstruksi pada sistem kendali tersebut.

Konsep B adalah sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot* di mana batang penggandeng *trailer* dimodifikasi menjadi dua batang yang dihubungkan dengan mekanisme engsel. Posisi engsel sebagai *pivot* di bawah tempat duduk *trailer*. Batang di depan dipasang (mati) pada titik gandeng traktor sehingga mengikuti gerakan traktor. Sementara batang kedua yang dihubungkan dengan engsel merupakan rangka

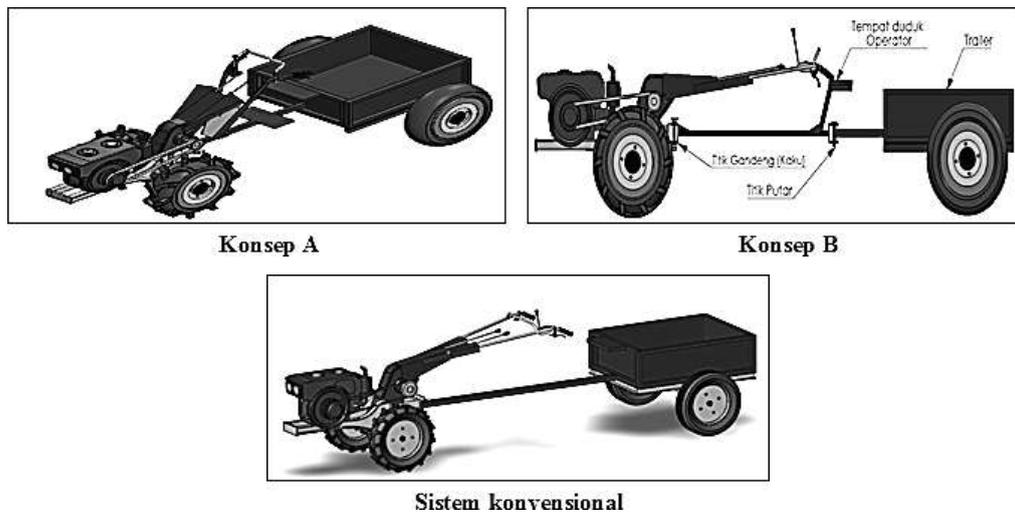
utama dari *trailer*. Tempat duduk operator dipasang pada batang depan yang dilengkapi pijakan kaki, sehingga operator dapat duduk nyaman memegang stang kemudi dan mengikuti gerakan traktor saat belok.

Struktur sistem penggandengan *trailer* ini tersusun atas: (a) rangka penghubung yang dipasang pada titik penggandeng traktor, (b) tempat duduk operator, (c) lubang pengait dan pin. Setiap komponen direncanakan secara detil untuk mendapatkan bentuk, ukuran, dan bahan yang memenuhi kriteria.

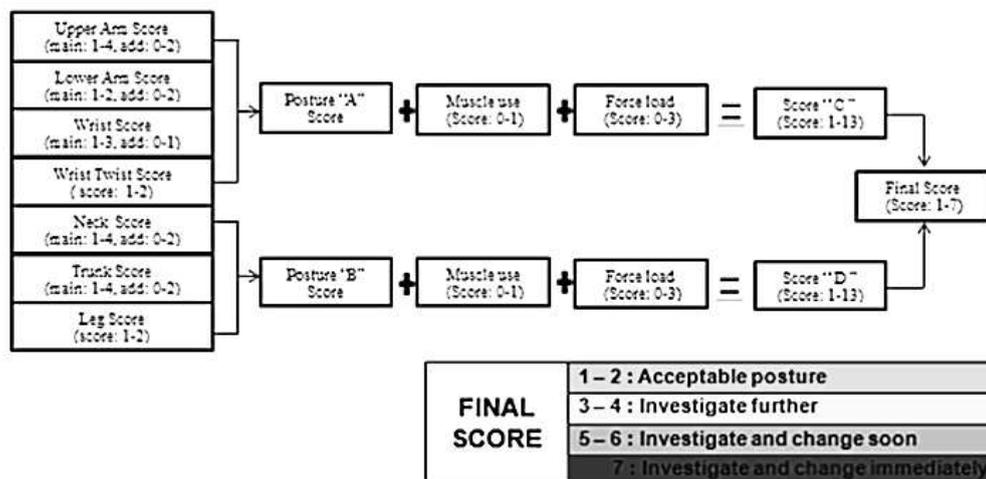
Analisis yang dilakukan pada komponen-komponen adalah:

1. Analisis Ergonomika

Analisis ergonomika menggunakan antropometri masyarakat Indonesia lelaki dewasa menurut Syuaib (2015a). Untuk mengetahui tingkat resiko gerakan kerja menggunakan metode RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*). Menurut McAtamny dan Corlett (1993) dalam Syuaib (2015b), RULA merupakan alat untuk mempermudah dalam menghitung tingkat resiko kerja akibat beban kerja yang telah diberikan, resiko kerja tersebut meliputi bagian leher, dan lengan tangan. Gambar 2 menunjukkan kesimpulan prosedur kerja menggunakan RULA.



Gambar 1. Konsep-konsep sistem penggandeng trailer.



Gambar 2. Bagan kesimpulan prosedur kerja RULA.

Tabel 1. Matriks keputusan untuk pemilihan konsep.

No.	Kriteria keputusan	Bobot (0-100)	Alternatif desain		
			<i>Existing</i>	<i>Knock down</i>	<i>Pivot trailer</i>
1.	Desain yang ergonomis	44.44	D	1	1
2.	Kemudahan manufaktur	11.11	A	-1	-1
3.	Kestabilan pengoperasian	33.33	T	-1	0
4.	Biaya pembuatan	0.00	U	-1	-1
5.	Biaya pengoperasian	11.11	M	-1	-1
Total +1				1	1
Total -1				4	3
Overall total					-3 -2
Weighted total				-11.11	22.22

2. Analisis Gerakan (motion analysis)

Analisis gerakan dilakukan pada sistem rangkaian traktor, rangka penghubung, dan trailer, sehingga posisi dan gerakan tiap komponen utama dapat diketahui baik pada kondisi sedang lurus, maupun sedang membelok hingga sudut belok 90°. Untuk analisis gerakan menggunakan model tiga dimensi dengan pandangan dua dimensi yang dikerjakan dengan software SolidWork 2016.

3. Analisis Kesetimbangan

Analisis kesetimbangan dilakukan untuk memeriksa kesetimbangan sistem trailer dan traktor pada posisi berbelok dalam kondisi statis. Menurut Meriam dan Kraige (2000) untuk menghitung kesetimbangan dapat dilakukan menggunakan persamaan (1) dan (2), di mana F adalah gaya (N) dan M adalah momen lentur (N mm).

$$\sum F = 0 \tag{1}$$

$$\sum M = 0 \tag{2}$$

4. Analisis Kekuatan Bahan

Analisis kekuatan bahan dilakukan untuk menghitung tegangan yang terjadi pada setiap komponen utama saat diberi pembebanan. Menurut Nash (1998), tegangan lentur (σ_b), tegangan normal (σ) dan tegangan geser (τ) dapat diketahui dengan menggunakan berturut-turut persamaan (3), (4), dan (5), di mana M adalah momen lentur (N mm), c adalah jarak dari sumbu netral ke tegangan normal (mm), I adalah momen inersia penampang (mm^4), sedangkan F adalah gaya tarik (N), F_s adalah gaya geser (N), dan A adalah luas penampang (mm^2).

$$\sigma_b = \frac{Mc}{I} \tag{3}$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{4}$$

$$\tau = \frac{F_s}{A} \tag{5}$$

Pembuatan dan Pengujian Prototipe

Pengujian prototipe sistem penggandengan

dilakukan dua tahap, yaitu: uji fungsional dan uji kinerja penggandengan. Pengujian fungsional dilakukan dengan pengamatan pada seluruh komponen-komponen sistem penggandengan ketika dipasangkan dan dioperasikan. Uji kinerja yang dilakukan meliputi:

1. Stabilitas traktor roda dua dan trailer ditandai dengan menapaknya seluruh roda-roda traktor roda dua dan trailer dengan baik pada permukaan lintasannya. Pengamatan dilakukan dengan pengambilan video pengoperasian traktor roda dua dan traileryaitu pada (1) pada kondisi lintasan: aspal dan tanah pertanian; (2) pada kondisi pengoperasian: lurus dan belok 90°; (3) pada kondisi muatan trailer kosong dengan kecepatan maju traktor adalah 4 km/jam.
2. Radius putar adalah besarnya jari-jari lingkaran yang dibuat oleh traktor roda dua dan trailer saat membelok. Jari-jari tersebut diukur dari tengah poros roda traktor dengan pusat lengkungan lintasan traktor roda dua saat berbelok.

Hasil dan Pembahasan

Pemilihan Alternatif Desain

Kriteria pemilihan alternatif desain yang terbaik dilakukan dengan menggunakan metode matriks keputusan (the decision-matrix method). Kriteria yang dipilih adalah yang mempunyai nilai total skor paling tinggi di mana unggul dari konsep-konsep lainnya.

Pembobotan terhadap kriteria-kriteria tersebut menggunakan digital logic menghasilkan kriteria desain yang ergonomis memiliki bobot paling besar yaitu 44.44 yang artinya kriteria yang paling diinginkan pada desain ini, hasil pembobotan kriteria yang lain dapat dilihat pada Tabel 1. Selanjutnya pemilihan alternatif desain yaitu menggunakan metode matriks keputusan dimana sistem penggandengan konvensional (existing) menjadi datumnya, kalau lebih baik bernilai 1, sama saja 0, dan tidak lebih baik dari datum -1. Hasil penjumlahan total menunjukkan bahwa konsep B yaitu sistem penggandengan trailer tipe pivot akhirnya dipilih karena memiliki skor tertinggi seperti disajikan Tabel 1.

Tabel 2. Analisis kesetimbangan traktor roda dua pada saat berbelok dengan muatan kosong (100 kg) dan muatan penuh (1000 kg).

Sudut belok	Gaya roda ban (N) Muatan kosong				Gaya roda ban (N) Muatan penuh			
	Na	Nb	Nc	Nd	Na	Nb	Nc	Nd
0°	1743.06	882.9	882.9	1504.05	1743.06	5297.4	5297.4	1504.05
15°	1743.06	1275.25	490.55	1504.05	1743.06	5689.29	4905.51	1504.05
30°	1743.06	1275.25	490.55	1504.05	1743.06	5689.30	4905.50	1504.05
45°	1743.06	1275.26	490.54	1504.05	1743.06	5689.37	4905.43	1504.0

Fungsi Tempat Kendali Operator Traktor Roda Dua

Struktur komponen yang menjadi fungsi tempat kendali operator traktor roda dua adalah tempat duduk operator dan pijakan kaki operator. Pendekatan analisis yang diperlukan dalam mendesain tempat duduk operator ini adalah analisis ergonomika dan kesetimbangan traktor roda dua.

1. Analisis Ergonomika

Desain posisi tempat duduk operator terhadap stang sangat menentukan tingkat kenyamanan operator saat mengendalikan *trailer*. Simulasi-simulasi terhadap manekin persentil 5, 50 dan 95 menggunakan *software Catia V5* seperti terlihat pada Gambar 3 menghasilkan posisi tempat duduk operator yang terbaik. Diperoleh ukuran-ukuran seperti tinggi tempat duduk (T_d) 410 mm dan jarak sandaran duduk (J_d) 1700 mm.

Untuk menganalisis desain posisi tempat duduk operator dapat menggunakan metode RULA. Berdasarkan skor RULA untuk desain posisi tempat duduk operator memiliki nilai skor RULA 3 untuk ketiga persentil (persentil 5, 50, dan 95) yang artinya postur operator sebenarnya masih dapat diterima namun ditandai adanya gerakan *repetitive*, kontraksi otot statis, atau pengeluaran gaya yang signifikan, sehingga diperlukan analisis lebih lanjut dan perubahan mungkin dibutuhkan.

Untuk memperbaiki skor RULA tersebut dapat dilakukan dengan memodifikasi ukuran-ukuran stang kemudi yaitu tinggi kemudi, lebar kemudi, dan panjang kemudi. Akan tetapi perubahan terhadap ukuran-ukuran stang tersebut dapat berpengaruh terhadap kinerja traktor roda dua pada pengolahan tanah, sehingga diperlukan investigasi lanjutan.

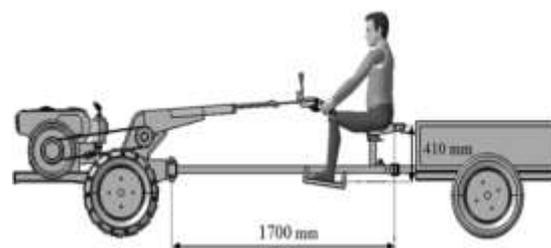
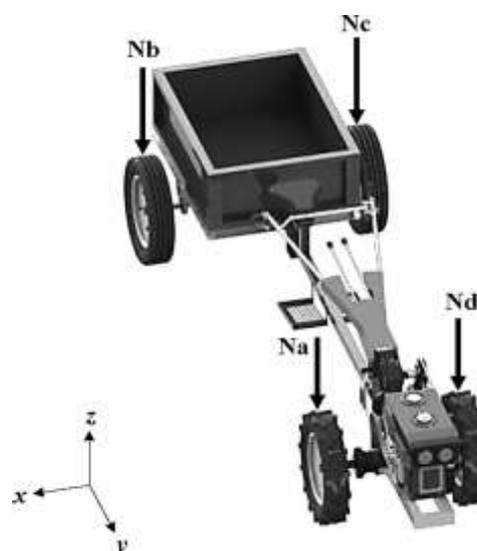
Dalam merancang desain ukuran tempat duduk *trailer* yang ideal harus sesuai dengan ukuran-ukuran antropometri masyarakat Indonesia lelaki dewasa menurut Syuaib (2015a). Ukuran-ukuran tempat duduk operator yang adalah panjang tempat duduk (P_d) adalah lebih kecil dari jarak dari lipat dalam lutut (*popliteal*) ke pantat persentil 5 (406 mm) diambil 320 mm. Lebar tempat duduk (L_d) adalah lebar pinggul persentil 50 yaitu 300 mm. Sehingga panjang tempat duduk (P_d) 320 mm dan lebar tempat duduk (L_d) 300mm.

2. Analisis Kesetimbangan Traktor Roda Dua

Pada sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot* mempunyai kelemahan pada saat traktor berbelok

karena beban utamanya tidak lagi terbagi merata pada seluruh roda ban, oleh karena itu diperlukan analisis kesetimbangan traktor roda dua pada saat berbelok. Menurut Meriam dan Kraige (2000) untuk menghitung kesetimbangan dapat dilakukan menggunakan persamaan (1) dan (2). Perhitungan kesetimbangan gaya dilakukan dalam arah sumbu x , y , dan z seperti terlihat pada Gambar 4.

Dari hasil perhitungan kesetimbangan gaya tersebut diperoleh distribusi gaya-gaya roda traktor roda dua dan *trailer* seperti terlihat pada Tabel 2. Dari tabel tersebut terlihat kemungkinan terjadinya pengangkatan (*wheel lift*) pada salah satu roda *trailer* pada saat beban *trailer* kosong (N_c). Hal ini disebabkan gaya yang dapat ditumpu oleh roda tersebut adalah 450.55 N sedangkan beban operator mencapai 800 N. Peluang terjadinya pengangkatan roda akan semakin bertambah jika *trailer* dalam keadaan dinamis

Gambar 3. Penempatan posisi tempat duduk operator (*seat*)Gambar 4. Analisis kesetimbangan gaya pada traktor dan *trailer* saat berbelok.

karena adanya pengaruh kecepatan traktor roda dua, permukaan lintasan dan berat operator yang berbeda. Pengangkatan pada roda *trailer* tersebut dapat menyebabkan *trailer* terguling yang dapat membahayakan keselamatan operator.

Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan modifikasi yaitu berupa penambahan roda bantu pada posisi di bawah dudukan operator supaya dapat menahan beban berat operator saat membelok sehingga tidak terjadi pengangkatan pada roda *trailer* tersebut. Roda bantu tersebut dilengkapi dengan pegas yang berguna untuk mengurangi tingkat guncangan (getaran) pada tempat duduk operator.

Fungsi Penghubung Traktor Roda Dua dengan Trailer

Struktur komponen yang menjadi fungsi penghubung traktor roda dua dengan *trailer* adalah rangka penghubung dan batang penghubung bak *trailer*. Pendekatan analisis yang diperlukan dalam mendesain rangka penghubung ini adalah antropometri, simulasi gerakan serta kekuatan bahan dan struktur.

1. Analisis Ergonomika

Panjang rangka penghubung adalah panjang dari titik gandang traktor roda dua ke sandaran dudukan operator atau sama dengan jarak sandaran duduk, oleh karena itu prosedur analisisnya sama dengan jarak sandaran duduk, sehingga panjang rangka penghubung 1700 mm.

2. Analisis Gerakan

Jarak antara bak *trailer* dan *pivot* diupayakan seminimal mungkin tanpa mengenai tempat duduk operator operator untuk belokan maksimum bak *trailer*. Jarak antara bak *trailer* dan *pivot* yang terlalu



Gambar 5. Prototipe sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot*.



(a)

(b)

Gambar 6. Posisi operator ketika berbelok 90°: (a) tipe *pivot*; (b) tipe konvensional.

panjang akan beresiko terhadap kemungkinan *trailer* terguling saat dioperasikan. Dengan jarak ruang gerak rencana sebesar 100 mm, maka jarak optimum antara *pivot* dan bak *trailer* dapat dihitung menggunakan persamaan 6 dengan R adalah radius putar *pivot* (mm), R_1 adalah radius tempat duduk (mm), lk adalah lebar tempat duduk (mm), sehingga:

$$R = \left(\left(\frac{lk}{2} \right)^2 + (R_1)^2 \right)^{1/2} \quad (6)$$

$$R = ((150)^2 + (R^2 - 200R + 10000))^{1/2}$$

$$R = 162.5 \text{ mm}$$

Dengan radius putar *pivot* sebesar 162.5 mm dilakukan simulasi gerakan pada *software SolidWork 2016* yang hasilnya menunjukkan bahwa *trailer* tidak bersinggungan dengan tempat duduk operator saat membelok, sehingga ukuran tersebut dapat dipergunakan.

3. Kekuatan Bahan dan Struktur

Untuk menghitung kekuatan rangka penghubung diperlukan data-data yaitu panjang rangka penghubung 1700 mm, berat operator (P) diambil persentil 95 yaitu 80 kg, panjang batang dari lubang pin ke bak *trailer* 162.5 mm, jenis bahan yang digunakan untuk pembuatan rangka penghubung ini adalah besi hollow ASTM A36 dengan *yield strength* 250 N/mm². Diketahui bahwa besarnya momen maksimum pada rangka penghubung adalah 121.12 kN mm, dengan menggunakan persamaan 3 diperoleh bahwa dengan ukuran penampang besi hollow 50 mm x 50 mm dengan tebal 4.5 mm dari rangka penghubung memenuhi kondisi persyaratan keamanan.

Fungsi Mekanisme Penggandengan

Struktur komponen yang menjadi fungsi mekanisme penggandengan adalah *pivot*, pin *pivot* dan dudukan lubang pengait. *Pivot* akan menghubungkan rangka penghubung dengan batang penghubung bak *trailer* melalui dudukan lubang pengait yang dipasangkan pin *pivot*. *Pivot* yang digunakan dirancang agar dapat menciptakan gerakan berputar ke kiri dan kanan maupun ke atas dan bawah. *Pivot* dibuat menggunakan baja pejal yang dibubut dengan diameter dalam 20 mm, diameter luar 40 mm, dan tinggi 60 mm.

Untuk mendapatkan dimensi-dimensi *pivot*, hal pertama yang dilakukan adalah harus diketahui dahulu gaya tarik pada traktor roda dua, menurut Desrial et al. (2010), berdasarkan hasil pengujian kinerja tarik pada lintasan beton traktor roda dua menghasilkan gaya tarik sebesar 1.44 kN pada kecepatan 0.92 m/s. Pada dudukan lubang pengait bahan yang dipilih adalah ASTM A36 dengan *yield strength* 250 N/mm² dan tegangan izin 125 N/mm², dengan menggunakan persamaan 5 didapatkan ukuran-ukuran dudukan lubang pengait yang digunakan adalah panjang 60 mm, tinggi 80 mm, lebar 60 mm, dan tebal 10 mm.

Untuk pin *pivot* bahan yang digunakan adalah S45C dengan kekuatan tarik sebesar 58 kg/mm² (Sularso

Tabel 3. Radius putar sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot* dan konvensional`

No.	Kecepatan maju traktor (km/jam)	Radius Putar (m)			
		<i>Trailer</i> Konvensional		<i>Trailer Pivot</i>	
		Muatan Kosong	Muatan Penuh	Muatan Kosong	Muatan Penuh
1.	4	3.75	3.72	2.18	2.28
2.	6	4.03	3.94	2.34	2.84

dan Suga 2008), dengan menggunakan persamaan 5 didapatkan ukuran-ukuran pin *pivot* yang digunakan adalah diameter 20 mm dan panjang 200 mm.

Pembuatan dan Pengujian Prototipe Sistem Penggandengan *Trailer* Tipe *Pivot*

Dari hasil desain kemudian dibuatkan prototipe sistem penggandeng *trailer* tipe *pivot* untuk traktor roda dua seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

Pada desain sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot* untuk traktor roda dua ini dapat memberikan kenyamanan pada operator. Operator tidak perlu turun dari tempat duduk operator dan dapat secara penuh mengendalikan traktor dalam keadaan berjalan lurus maupun berbelok. Dalam posisi duduk operator dapat menjangkau semua tuas-tuas kemudi pada traktor roda dua seperti terlihat pada Gambar 6.

Kinerja Sistem Penggandengan *Trailer* Tipe *Pivot*

Hasil pengujian fungsional menunjukkan tiap-tiap komponen sistem penggandengan yaitu sistem *pivot*, rangka penghubung *trailer*, tempat duduk operator, pijakan kaki operator, roda bantu/belok, pegas, lubang pengait dan pin berfungsi dengan baik sesuai dengan mekanisme yang direncanakan.

Dengan penambahan roda bantu di bawah tempat duduk operator, stabilitas traktor roda dua dan *trailer* lebih baik, di mana roda-roda traktor roda dua dan *trailer* serta roda bantu dapat menapak dengan baik pada permukaan lintasannya. Kestabilan ini akan menghindari traktor roda dua atau *trailer* terguling, dan meningkatkan keselamatan operator saat mengoperasikannya. Demikian juga, roda bantu dapat meningkatkan kestabilan sistem penggandengan *trailer*, walaupun saat roda melintas lintasan bergelombang atau berlubang seperti terlihat pada Gambar 7. Penggunaan pegas pada sistem roda bantu tersebut juga mengurangi tingkat guncangan (getaran) pada tempat duduk operator yang membuat operator lebih nyaman.

Hasil pengujian juga menunjukkan traktor dan *trailer* dapat berbelok dengan baik pada lintasan aspal maupun tanah pertanian. Semua roda pada traktor dan *trailer* menapak sempurna pada lintasan tanpa terjadi pengangkatan, dan *trailer* yang digandengkan pada traktor tidak terguling ketika berbelok.

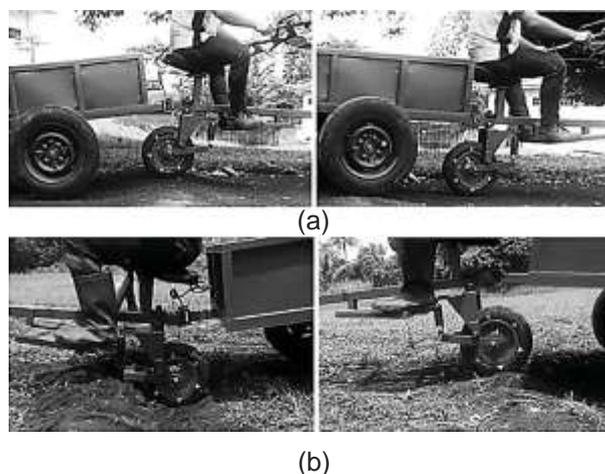
Hasil pengujian radius putar traktor roda dua dengan sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot* dan konvensional diperlihatkan pada Tabel 3. Terlihat bahwa sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot* dapat

memperpendek radius putar dari traktor roda dua untuk berbagai variasi kecepatan dan muatan, dari 3.72 - 4.02 m (konvensional) menjadi 2.18 - 2.84 m (tipe *pivot*). Dengan radius belok yang lebih pendek, sistem penggandengan dapat lebih lincah dan mudah melintas belokan yang cukup tajam atau sempit.

Pada *trailer* konvensional beban *trailer* relatif tidak mempengaruhi kemampuan traktor roda dua untuk berbelok, akan tetapi pada *trailer* tipe *pivot* sangat berpengaruh karena titik putarnya yang di *pivot* menyebabkan lengan momen yang panjang sehingga mengurangi kemampuan berbelok akibat membutuhkan gaya yang lebih besar. Hal ini menyebabkan radius belokan pada *trailer* tipe *pivot* menjadi lebih besar dengan adanya penambahan beban *trailer* (Tabel 3).

Pada pengoperasian mundur, sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot* ini memerlukan bantuan orang lain untuk mengarahkan *trailer*. Oleh karena itu diperlukan penguncian pada sistem *pivot*nya yaitu dengan menghentikan gerakan putar sementara pada *pivot* saat pengoperasian mundur sehingga arah belokan *trailer* bisa dikendalikan sendiri oleh operator. Penguncian ini harus dapat dengan mudah dikendalikan (lepas-pasangnya) oleh kaki operator.

Sebagai tambahan, biaya pembuatan untuk *trailer* tipe *pivot* ini adalah Rp7,500,000 lebih tinggi daripada *trailer* konvensional yaitu Rp6,000,000, hal ini disebabkan adanya penambahan pada beberapa komponen yaitu roda bantu berpegas, mekanisme *pivot*, dan tempat duduk operator. Dari



Gambar 7. Pengujian melintasi polisi tidur/gundukan tanah dan lubang:
(a) jalan aspal; (b) tanah pertanian

hasil perhitungan, biaya pengoperasian traktor roda dua dan *trailer* tipe *pivot* Rp33,890/jam lebih tinggi dibandingkan tipe konvensional Rp33,543/jam, hal ini juga disebabkan adanya penambahan beberapa komponen terutama roda bantu.

Simpulan dan Saran

Simpulan

1. Sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot* merupakan sistem penggandengan yang paling unggul dibandingkan dengan konsep-konsep sistem penggandengan yang lain.
2. Dimensi-dimensi ideal tempat duduk operator (*seat*) untuk ketiga persentil adalah tinggi tempat duduk (Td) 410 mm, jarak sandaran duduk (Jd) 1700 mm, panjang tempat duduk (Pd) 320 mm, dan lebar tempat duduk (Ld) 300 mm.
3. Dimensi rangka penghubung adalah panjang 1700 mm, yang dibuat dari besi hollow ASTM A36 ukuran 50 x 50 mm dengan ketebalan 2.5 mm. Dimensi *pivot* adalah diameter dalam 20 mm, diameter luar 40 mm, dan tinggi 60 mm yang terbuat dari baja untuk poros pejal S45C.
4. Hasil pengujian fungsional menunjukkan tiap komponen-komponen sistem penggandengan *trailer* tipe *pivot* telah berfungsi dengan baik sesuai dengan mekanisme yang direncanakan
5. Hasil pengujian kinerja menunjukkan stabilitas traktor dan *trailer* yang baik di mana roda-roda traktor dan *trailer* dapat menapak sempurna pada lintasan jalan aspal dan tanah pertanian. Traktor roda dua dengan sistem penggandengan tipe *pivot* memiliki radius putar 2.18 m – 2.82 m, lebih kecil jika dibandingkan dengan sistem konvensional yaitu 3.72 m – 4.03 m.

Saran

Perlu dilakukan modifikasi terhadap ukuran stang kemudi traktor roda dua yaitu lebar dan tinggi stang sehingga bisa memperbaiki skor RULA. Selain itu perlu dilengkapi dengan sistem pengunci pada sistem *pivot* sehingga lebih memudahkan operator saat pengoperasian mundur.

Daftar Pustaka

- Desrial., Y.A. Purwanto dan F. Wiratama. 2010. Evaluasi Kinerja Tarik Traktor Tangan dengan Bahan Bakar Minyak Kelapa Murni. Prosiding Seminar Nasional Perteta; 2010; Purwokerto, Indonesia. Purwokerto (ID): Universitas Jendral Soedirman. hlm 370-375.
- Dewangan, K.N., C. Owary and R.K. Datta. 2010. Anthropometry of male agricultural workers of north-eastern India and its use in design of agricultural tools and equipment. *International Journal of Industrial Ergonomics.*, 40: 560-573.
- Meriam, J.L. and L.G. Kraige. 1997. Engineering Mechanics Statics. Volume ke-1. New York (US) : John Wiley & Sons Inc.
- Nafchi, A.M., H.M. Nafchi and I.A. Demneh. 2011. Improving of Steering System for walking tractor-trailer combination to increase operator's comfort and ease of control. *Agricultural Engineering International : CIGR Journal.* 13(3). Manuscript No. 1598
- Nash, W.A. 1998. Schaum's Outline of Theory and Problem of Stength of Materials 4th. New York (US) : McGraw-Hill.
- Raskarowana, B. 2016. Desain Konseptual Stang Kemudi Traktor Roda Dua untuk Transportasi Menggunakan *Trailer* melalui Pendekatan Ergonomika. (Skripsi). Departemen Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian, IPB. Bogor.
- Sularso dan K. Suga. 2008. Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin. Pradnya Pramita Jakarta.
- Syuaib, M.F. 2015a. Anthropometric study of farm workes on Java Island, Indonesia, and its implications for the design of farm tools and equipment. *Applied Ergonomics.* 51 (2015) : 222-235.
- Syuaib, M.F. 2015b. Ergonomic of the manual harvesting task of oil-palm plantation in Indonesia based on antropometric, postures and work motion analyses. *Agric Eng Int: CIGR Journal.* 17(3): 248-262.
- Yadaf, R., S. Nashik, N.C. Patel and L.P. Gite. 2010. Analytical study of strength parameter of Indian farm workers and its implication in equipment design. *Agric Eng Int : CIGR Journal.* 12(2):49-54