

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

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

Vol. 6, No. 2, Agustus 2018



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 dan Teknologi 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, dan mulai tahun ini berisi 15 naskah untuk setiap nomornya. Peningkatan jumlah naskah pada setiap nomornya ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. 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 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, 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 Bestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 6 No. 2 Agustus 2018. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Bambang Purwantana, M.Agr (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Hasbi, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Lilik Sutiarmo, M.Eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Bambang Susilo, M.Sc.,Agr (Jurusan Keteknikan Pertanian, Universitas Brawijaya), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Tineke Mandang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Slamet Budijanto, M.Agr (Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Nauman Khalid (School of Food and Agricultural Sciences, University of Management and Technology (Pakistan)), Dr.Ir. Ridwan Rahmat. M.Agr (Badan Litbang Pertanian), Ir. Joko Pitoyo, M.Si (Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian), Dr.Ir. Rizal Alamsyah, M.Sc (Balai Besar Industri Agro), Dr.Ir. Ratnawati, M.Eng.,Sc (Jurusan Teknik Kimia, Institut Teknologi Indonesia), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastara, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Astika, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold Oscar Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Usman Ahmad, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Rudiati Evi Masitoh, STP.,MDT (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr. Radi, STP.,M.Eng (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Andri Prima Nugroho, STP.,M.Sc (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Nursigit Bintoro, M.Sc (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Universitas Gadjah Mada), Taufik Rizaldi, STP.,M.P (Jurusan Keteknikan Pertanian, Universitas Sumatera Utara), Ir. Mimin Muhaemin, M.Eng.,Ph.D (Jurusan Teknologi Agroindustri, Universitas Padjadjaran), Dr. Siswoyo Soekarno, STP.,M.Eng (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jember), Dr. Alimuddin, ST.,MM.,MT (Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa), Dr. Dedy Wirawan Soedibyo, STP.,M.Si (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Jember).

Technical Paper

Desain dan Kinerja Mesin Pemupuk Tipe Auger Bertenaga Traktor Tangan untuk Tanaman Kedelai

Design and Performance of Auger Type Fertilizer Applicator Powered by Hand Tractor for Soybean Plant

Diang Sagita, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: diang.sagita@gmail.com

Wawan Hermawan, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.
Email: wawanfateta@yahoo.co.id

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

Abstract

The prototype of auger type fertilizer applicator powered by hand tractor has been developed. It was constructed for four planting rows of soybean in one pass. The four fertilizer applicator units were rotated by utilizing the tractor wheel axle rotation. The auger of the metering device was divided into 3 sections of auger pitch (15, 20 and 25 mm) due to the applicator could be changed the application rate. Each auger pitch represented application rate about 150 kg/ha (6 g/m), 200 kg/ha (8 g/m) and 250 kg/ha (10 g/m) respectively. The objective of this study was to develop and to conduct performance test of auger type fertilizer applicator for four planting rows of soybean that could be changed the dose. The result of stationary tests shows that the average dose for each pitch were 7.42, 9.58 and 11.60 g/auger rotation respectively at 1800 rpm (18 rpm auger) engine speed and 7.88, 9.53 and 11.49 g/auger rotation respectively at 2000 rpm (20 rpm auger). The field test showed the result for each auger pitch were 5.91, 8.46 and 10.08 g/m respectively. These results indicated that the applicator was able to allocate fertilizer evenly with high accuracy (the error was less than 8%). The field test showed that effective field capacity was 0.137 ha/hour and efficiency was 73.7%.

Keywords: *applicator, auger, fertilizer, hand tractor, soybean.*

Abstrak

Prototipe unit pemupuk tipe *auger* bertenaga traktor tangan untuk tanaman kedelai telah berhasil dikembangkan. Prototipe ini dibuat untuk pemupukan empat alur tanam dalam satu lintasan. Empat unit penjatah pupuk digerakkan dengan memanfaatkan putaran dari poros roda traktor. Poros auger dari *metering device* pupuk dibagi menjadi 3 ukuran jarak *pitch* yaitu 15, 20 dan 25 mm agar dosis pupuk dapat diatur. Setiap jarak *pitch auger* mewakili dosis pemupukan berturut-turut 150 kg/ha (6 g/m), 200 kg/ha (8 g/m), and 250 kg/ha (10 g/m). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan menguji kinerja dari unit pemupuk kedelai empat alur tanam yang dapat diubah dosis pemupukannya. Hasil pengujian stasioner menunjukkan nilai penjatahan pupuk untuk tiap *pitch* berturut-turut adalah 7.42, 9.58 and 11.60 g/putaran *auger* saat pengujian dengan kecepatan putar *engine* 1800 rpm (18 rpm *auger*) dan 7.88, 9.53 and 11.49 g/putaran *auger* saat diuji pada 2000 rpm (20 rpm *auger*). Sementara pengujian di lahan berturut-turut untuk setiap *pitch* adalah 5.91, 8.46 dan 10.08 g/m. Hasil tersebut menunjukkan bahwa unit pemupuk telah mampu menjatah pupuk secara merata dengan tingkat akurasi yang tinggi (*error* kurang dari 8%). Kapasitas lapangan efektif mesin mencapai 0.137 ha/jam dan efisiensi lapangan sebesar 73.7%.

Kata Kunci: *aplikator, auger, kedelai, pupuk, traktor tangan.*

Diterima: 21 November 2017; Disetujui: 25 Juli 2018.

Latar Belakang

Kebutuhan kedelai di Indonesia terus meningkat seiring dengan meningkatnya permintaan untuk bahan pangan maupun industri seperti tahu, tempe, kecap, susu kedelai, tauco, dan lain sebagainya (Pratama dan Hardiansyah, 2014). Produksi kedelai nasional pada tahun 2015 adalah sebesar 963.18 ribu ton (BPS 2015). Produksi kedelai dalam negeri sampai saat ini hanya mampu memenuhi 30-40% kebutuhan nasional, sedangkan kebutuhannya sekitar 3 juta ton sehingga untuk mencukupinya dilakukan impor (Permadi dan Yati, 2015). Salah satu upaya pemerintah untuk meningkatkan produksi dalam negeri adalah dengan peningkatan luas area tanam kedelai dan saat ini telah dikembangkan budidaya kedelai jenuh air pada lahan pasang surut. Menurut Sabran *et al.* (2000) sekitar 5.6 juta ha lahan pasang surut di Indonesia sesuai untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian, sehingga sejak tahun 2015 pemerintah telah membuat program ekstensifikasi lahan di daerah pasang surut dalam upaya meningkatkan produksi kedelai dalam negeri agar tercapai kemandirian pangan berbasis kedelai. Seiring dengan peningkatan areal tanam kedelai tersebut, penerapan teknologi mekanisasi dalam budidaya kedelai sangat diperlukan karena keterbatasan tenaga manusia di daerah-daerah khususnya daerah pasang surut.

Penggunaan teknologi untuk pertanian yang sudah cukup berkembang di Indonesia adalah traktor tangan. Traktor jenis ini banyak digunakan karena harganya lebih murah dibanding traktor roda empat. Selain itu, luas lahan yang dimiliki oleh petani relatif kecil sehingga masih dapat diselesaikan hanya dengan traktor tangan. umumnya traktor tangan digunakan untuk penyiapan lahan dan pengolahan tanah di Indonesia (Mardinata dan Zulkifli, 2014). Pada tahun 2012 jumlah traktor tangan yang ada di Indonesia adalah sebanyak 501,433 unit (BPS 2013 dalam Mardinata dan Zulkifli, 2014), sehingga cocok sekali untuk pengembangan mesin budidaya yang diintegrasikan dengan traktor ini.

Pengembangan mesin yang diintegrasikan dengan traktor tangan telah banyak dilakukan sebelumnya. Hermawan *et al.* (2012) telah berhasil mendesain dan mengujicoba mesin pengolah tanah, penanam dan pemupuk terintegrasi dengan tenaga gerak traktor tangan untuk tanaman jagung dan selanjutnya dikembangkan oleh Sitorus *et al.* (2015) yang awalnya untuk satu alur tanam menjadi dua alur tanam. Mesin ini digerakkan oleh traktor tangan dan mampu melakukan proses pengolahan tanah, pembentukan guludan tanam, penanaman dan pemupukan secara simultan. Namun bagian pemupuk masih memiliki kendala yaitu penumpukan pupuk yang lembab pada celah rotor dengan tipe *edge cell*, sehingga perlu dikembangkan mekanisme lain yang lebih baik. Sitorus *et al.* (2015) menyatakan bahwa penumpukan pupuk terjadi karena adanya udara lingkungan yang banyak mengandung uap air menyebabkan pupuk NPK menjadi lembab. Perubahan tersebut menyebabkan pupuk NPK

bersifat adesif terhadap rotor pupuk yang terbuat dari bahan *polyethylene*. Akibatnya celah rotor mengalami penyumbatan oleh butiran halus pupuk dan membuat volume celah pupuk menjadi terus berkurang sehingga dosis penjatahannya menjadi tidak sesuai dengan yang diharapkan. Selain itu, prototipe sebelumnya hanya memiliki kapasitas kerja untuk dua alur tanaman dalam sekali lintasan. Besarnya kapasitas lapangan prototipe tersebut adalah 0.078 ha/jam (data setelah dikonversi dari jarak tanam jagung yaitu 75 cm ke jarak tanam kedelai yaitu 40 cm), sehingga kapasitasnya perlu ditingkatkan agar menjadi lebih tinggi dalam sekali jalan. Unit pemupuk perlu dimodifikasi menggunakan tipe *auger* untuk mencegah penumpukan pupuk seperti yang terjadi pada tipe *edge cell* serta dapat diatur dosis pemupukannya. Mesin pemupuk ini didesain untuk diintegrasikan dengan unit penanam benih kedelai sehingga pada pengaplikasiannya traktor diharapkan dapat menanam dan memupuk kedelai secara bersamaan dalam sekali lintasan.

Bahan dan Metode

Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi (1) peralatan pembuatan konstruksi mesin dan (2) peralatan pengujian kinerja (*tachometer digital*, timbangan digital, plastik, penggaris, meteran dan oven). Traktor yang digunakan adalah traktor tangan merk Yanmar tipe YZC-L dengan daya 10.5 HP 2400 rpm.

Bahan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari bahan pembuatan mesin dan bahan untuk pengujian. Bahan pembuatan mesin terdiri dari plat besi ketebalan 8, 4 dan 3 mm, plat *stainless steel* ketebalan 1 mm, besi kubus ukuran 40 × 40 × 3 mm dan ukuran 40 × 20 × 2 mm, poros baja SC-45 diameter 16 mm dan poros *stainless steel* diameter 12 mm, pipa *stainless steel* diameter 1.5 inchi, sproket, rantai, *pillow block*, baut dan mur. Bahan untuk pengujian adalah pupuk NPK.

Rancangan Fungsional

Secara fungsional, mesin pemupuk kedelai ini berfungsi untuk menjatah pupuk secara simultan dan seragam dengan kapasitas empat alur dalam satu lintasan. Pada penerapannya, mesin pemupuk ini didesain untuk diintegrasikan dengan unit penanam kedelai sehingga dalam sekali lintasan dapat menanam dan memupuk secara bersamaan. Pemupuk juga dirancang agar dosis pemupukannya dapat diatur sesuai kebutuhan serta unit pemupuk dapat terhindar dari penggumpalan pupuk pada *metering device*. Fungsi dari setiap bagian mesin Rancangan fungsional dapat dilihat pada Tabel 1.

Sumber Tenaga Putar Penjatah Pupuk

Poros penjatah diputar oleh tenaga putar roda traktor. Putaran dari poros roda traktor ditransmisikan ke poros penjatah pupuk memakai transmisi rantai-sproket. Hal ini dilakukan karena besarnya torsi

Tabel 1. Rancangan fungsional.

Fungsi utama	Sub Fungsi	Komponen / Mekanisme
Menjatah pupuk untuk empat alur tanaman kedelai secara merata dan seragam dengan dosis yang dapat dipilih yaitu 150, 200 dan 250 kg/ha.	Menopang unit pemupuk	Rangka penggandeng
	Menampung pupuk NPK	Hopper dari stainless steel
	Menjatah pupuk	Tipe screw (auger)
	Membuat alur pupuk	Pembuka alur tipe disk
	Mengatur dosis pupuk	Kompartemen dengan tiga pengatur arah
	Menyalurkan daya ke unit pemupuk	Rantai dan sproket
	Memutus transmisi daya dari poros roda ke poros penggerak metering device	Kopling

Tabel 2. Data perhitungan volume pupuk per putaran *auger*.

Dosis (kg/ha)	P_{1m} (g/m)	P_{ppk} (g/putaran <i>auger</i>)	V_{ppk} (cm ³ /putaran <i>auger</i>)	V_{ppk2} (cm ³ /putaran <i>auger</i>)
150	6	7.43	7.91	13.18
200	8	9.91	10.54	17.57
250	10	12.39	13.18	21.96

dari putaran roda traktor dapat dimanfaatkan untuk memutar unit penjatah pupuk. Selain itu dengan menghubungkannya dengan roda traktor, rasio penjatahan pupuk dapat dirancang agar konsisten mengikuti jarak yang ditempuh traktor. Sehingga penjatahan pupuk tiap meter-nya tidak akan dipengaruhi oleh kecepatan maju traktor.

Sistem Penjatahan Pupuk

Sistem penjatahan pupuk dirancang menggunakan mekanisme poros berulir (*auger*) karena mekanisme ini dapat mengatasi kendala penggumpalan pupuk pada celah rotor seperti yang terjadi pada tipe *edge cell* (Jamaludin, 2016). Kapasitas penjatahan pupuk NPK phonska yang dirancang mengacu pada penelitian (Ratnasari *et al.*, 2015) yaitu 250 kg/ha karena menghasilkan produktivitas paling tinggi. Namun pada perancangannya, unit *aplikator* dibuat agar dosisnya dapat diatur menjadi tiga pilihan dosis pupuk yaitu 150, 200 dan 250 kg/ha. Hal ini didasarkan karena tingkat kandungan hara pada tanah tidak selalu sama, apabila unsur hara pada tanah masih ada maka dosis pemupukan dapat dikurangi agar tidak terjadi pemborosan pupuk. Selanjutnya untuk mengetahui dosis pupuk per panjang alur pupuk (P_{1m}) dapat dihitung dengan dengan Persamaan 1.

$$P_{1m} = \frac{D_p}{J_{1h}} \times J_{1m} \tag{1}$$

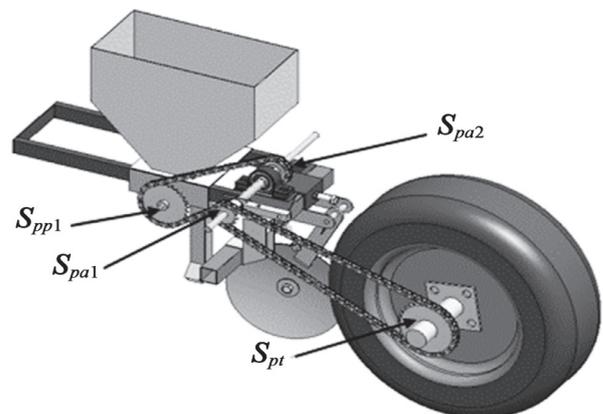
Dalam hal ini P_{1m} adalah jumlah pupuk yang dijatah per meter alur (g/m) dan D_p adalah dosis pupuk NPK (g/ha). Jumlah populasi tanaman kedelai per hektar (J_{1h}) dengan jarak tanam 20 × 40 cm adalah 125.000 tanaman/ha, jumlah tanaman per meter (J_{1m}) adalah 5 tanaman.

Selanjutnya, dengan memasukkan nilai-nilai peubah di atas, maka dapat diperoleh dosis pupuk per meternya berturut turut adalah 6, 8 dan 10 g/m.

Dosis pupuk yang harus dijatahkan per putaran rotor penjatah adalah dengan memperhitungkan mekanisme transmisi dari poros traktor sampai poros penjatah pupuk (Gambar 1). Transmisi ini melalui empat sproket dengan jumlah gigi dari poros traktor ke poros pemupuk adalah 33, 14, 16, 28. Dosis pupuk yang harus dijatahkan per putaran rotor penjatah dihitung menggunakan Persamaan 2.

$$P_{ppk} = P_{1m} \times (\pi \times D_{rt} \times (1 - S_r)) \times \frac{S_{pa1}}{S_{pt}} \times \frac{S_{pp1}}{S_{pa2}} \tag{2}$$

Dalam hal ini P_{ppk} adalah jumlah pupuk yang harus dijatahkan per putaran rotor penjatah (g), D_{rt} adalah diameter roda traktor (0.59 m), S_r adalah *slip* roda penggerak (10%), S_{pa1} adalah jumlah gigi sproket-1 poros antara (14 gigi), S_{pa2} adalah jumlah gigi sproket-2 poros antara (16 gigi), S_{pt} adalah jumlah gigi sproket roda traktor (33 gigi), S_{pp1} adalah jumlah gigi sproket poros pupuk (28 gigi). Jumlah pupuk penjatahan per putaran rotor penjatah (P_{ppk}) yang dihitung menggunakan Persamaan 2 dapat dilihat pada Tabel 2. V_{ppk} adalah volume pupuk per putaran



Gambar 1. Sistem transmisi roda traktor ke poros penjatah pupuk

auger (cm³) hasil konversi P_{ppk} yang telah diketahui massa jenisnya yaitu 0.94 g/cm³. Kemudian V_{ppk2} adalah volume pupuk setelah dibagi dengan efisiensi pengisian ruang auger yang nilainya diasumsikan 60%. Rancangan mekanisme penjatahan pupuk disajikan pada Gambar 2 dan cara untuk menentukan ukuran auger dapat dilihat pada Persamaan 3 dan 4.

$$Q_p = \frac{\pi}{4} (d_{sf}^2 - d_{ss}^2) \times l_p \times n_c \quad (3)$$

$$V_{ppk2} = \frac{\pi}{4} (d_{sf}^2 - d_{ss}^2) \times l_p \quad (4)$$

Dalam hal ini Q_p adalah kapasitas aliran pupuk (cm³/s), n_c adalah kecepatan putar (rps), d_{sf} adalah diameter luar auger (cm), d_{ss}

adalah diameter dalam auger (cm), l_p adalah panjang pitch (cm). Kemudian dari Persamaan 3 tersebut diubah menjadi bentuk Persamaan 4 untuk menentukan besarnya panjang pitch auger (l_p) yang diperlukan dengan terlebih dahulu menentukan d_{sf} dan d_{ss} dan nilai V_{ppk2} yang sudah diketahui. Nilai d_{sf} dan d_{ss} ditentukan berdasarkan ukuran pipa stainless yang tersedia di pasaran, umumnya dalam satuan inci mulai dari 1, 1.5, 2 inci dan seterusnya. Untuk perancangan ini dipilih pipa ukuran 1.5 inci dengan diameter luar 38 mm dan diameter dalam 36 mm sehingga nilai d_{sf} adalah 35 mm karena jarak antara celah auger dengan dinding dirancang sebesar 0.5 mm. Keterangan dari

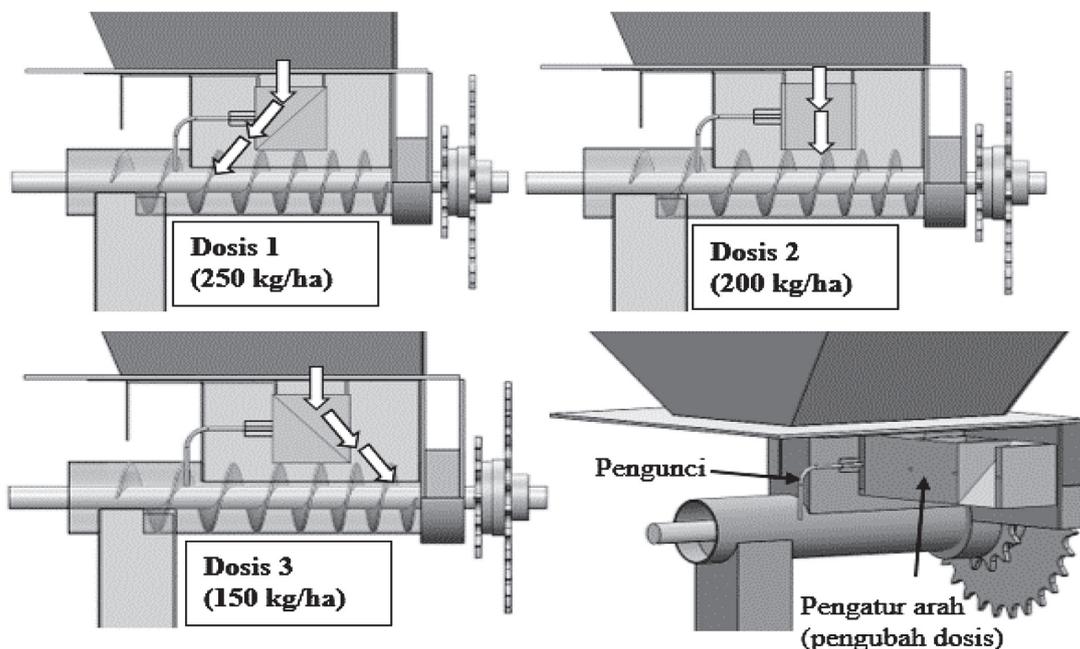
Tabel 3. Data perhitungan dimensi auger penjatah pupuk.

V_{ppk2} (cm ³ /putaran auger)	d_{sf} (cm)	d_{ss} (cm)	l_p (cm)
13.18	3.5	1.2	1.55
17.57	3.5	1.2	2.07
21.96	3.5	1.2	2.58

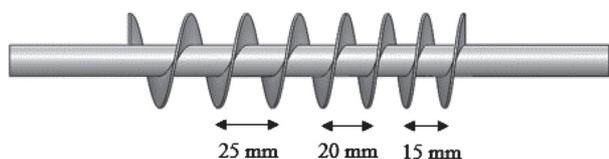
komponen dimensi auger dapat dilihat pada Gambar 3 dan hasil perhitungan disajikan pada Tabel 3. Perancangan penjatah pupuk tipe auger agar dapat diubah dosis pemupukannya adalah dengan membuat jarak pitch dari auger menjadi tiga variasi.

Mekanisme Pegaturan Dosis Pupuk

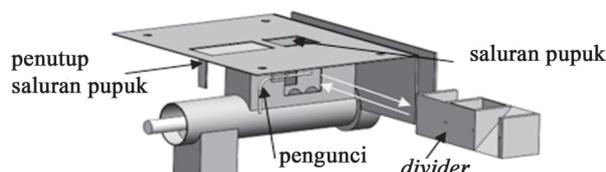
Pengaturan/pemilihan dosis pupuk dilakukan dengan cara menggeser sebuah komponen bernama *divider*. *Divider* dapat digeser ke dalam 3 posisi yang mana setiap posisi mengarahkan pupuk jatuh ke bagian auger dengan panjang pitch yang berbeda. Pada bagian *divider* terdapat suatu lubang pengunci agar posisi *divider* tidak bergeser pada saat dioperasikan. Komponen lain yang juga berperan adalah penutup saluran pupuk yang mana komponen ini berfungsi untuk menutup saluran pupuk yang menuju ke bagian *metering device* saat dosis pupuk akan diubah sehingga pupuk tidak akan jatuh saat pergantian dosis. Mekanisme pengaturan dosis dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 2. Rancangan mekanisme penjatahan dan pengaturan dosis pupuk.



Gambar 3. Desain penjatah pupuk tipe auger dengan variable pitch.



Gambar 4. Sketsa mekanisme pengaturan dosis pupuk.

Kebutuhan Daya Unit Pemupuk

Kebutuhan daya untuk menggerakkan unit pemupuk dihitung berdasarkan torsi dan kecepatan putar dari poros *auger*. Kebutuhan daya dihitung menggunakan Persamaan 5 dan torsi dihitung menggunakan Persamaan 6.

$$P = T \times \frac{2 \times \pi \times n}{60} \quad (5)$$

$$T = F \times l \quad (6)$$

Dalam hal ini P adalah daya untuk memutar *auger* (watt), T adalah torsi untuk memutar poros *auger* (Nm), n adalah kecepatan putar *auger* (rpm), F adalah gaya untuk menarik rantai pada sproket poros *auger* (N) dan l adalah jari-jari sproket *auger* (m).

Perhitungan torsi dilakukan dengan cara mengukur gaya yang diperlukan untuk memutar poros *auger*. Pengukuran gaya dilakukan dengan cara mengkaitkan timbangan gantung pada rantai yang menghubungkan transmisi ke poros *auger* lalu ditarik sampai poros berputar dan beban terbaca pada timbangan. Besarnya beban untuk menaik rantai sproket poros *auger* rata-rata adalah 4.63 kgf (45.4 N), kecepatan putar maksimum poros *auger* diasumsikan 28 rpm dan jari-jari sproket adalah 6 cm. sehingga diperoleh besarnya kebutuhan daya adalah 7.99 watt untuk satu *auger* sehingga untuk keempat unit pemupuk membutuhkan daya 31.95 watt. Daya tersebut sangat kecil jika dibandingkan dengan daya traktor tangan jenis apapun sehingga unit pemupuk ini akan mampu digerakkan oleh semua traktor tangan.

Metode Pengujian

Pengujian kinerja dilakukan dengan dua tahap (kondisi) yaitu pengujian di laboratorium (stasioner) dan pengujian di lahan. Pengujian di laboratorium dilakukan untuk menguji kinerja penjataan pupuk dengan cara mengangkat traktor sehingga roda traktor dapat diputar tanpa menapak permukaan landasan saat mesin dihidupkan. Prosedurnya antara lain: 1) mempersiapkan traktor tangan, 2) mempersiapkan unit pemupuk yang telah dipasangkan ke traktor tangan, 3) mempersiapkan plastik penampung pupuk di bawah saluran pengeluaran pupuk, 4) menandai roda traktor sebagai acuan penjataan, 5) menampung pupuk tiap 5 putaran roda traktor sebanyak 5 ulangan, 6) melakukan perulangan dengan 3 variasi *pitch auger* dan dua variasi kecepatan *engine* traktor 1800 rpm (18 rpm *auger*) dan 2000 rpm (20 rpm *auger*). Data yang diambil adalah massa pupuk yang keluar dari lubang *outlet* pada tiap 5 putaran roda traktor. Sehingga untuk mengkonversinya ke dalam satuan dosis pupuk yaitu gram per meter maka data dilakukan konversi menggunakan Persamaan 7.

$$d_{ppk} = \frac{m_p}{N} \times (1 - S_r) \times \frac{S_{pa1}}{S_{pt}} \times \frac{S_{pp1}}{S_{pa2}} \quad (7)$$

Dalam hal ini d_{ppk} adalah dosis rata-rata pupuk (g/putaran *auger*), m_p adalah massa pupuk tiap 5 putaran roda traktor (g), N adalah jumlah putaran roda traktor (5 putaran), S_r adalah asumsi slip roda traktor (10%), S_{pa1} adalah jumlah gigi sproket-1 poros antara (14 gigi), S_{pa2} adalah jumlah gigi sproket-2 poros antara (16 gigi), S_{pt} adalah jumlah gigi sproket poros traktor (33 gigi) dan S_{pp1} adalah jumlah gigi sproket-1 poros pemupuk (28 gigi). Selanjutnya untuk mengetahui tingkat akurasi penjataan pupuk, nilai *error* dari penjataan dihitung menggunakan Persamaan 8.

$$E_r = \frac{|d_{ppk} - P_{ppk}|}{P_{ppk}} \times 100 \quad (8)$$

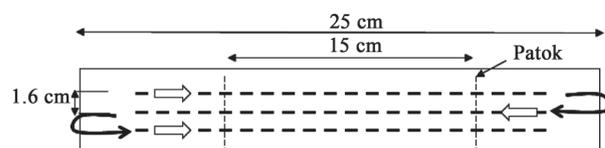
Dalam hal ini E_r adalah besarnya *error* penjataan (%), P_{ppk} adalah target dosis teoritis (g/putaran *auger*).

Pengujian kinerja pemupukan di lahan dilakukan untuk mengetahui: 1) tingkat ketepatan dan keseragaman dosis pemupukan, 2) kapasitas lapangan. Prosedur pengukuran tingkat keseragaman penjataan pupuk pada pengujian di lahan antara lain: 1) mempersiapkan traktor tangan yang telah dipasangkan unit pemupuk, 2) menyiapkan saluran penampung berupa kanal U sepanjang 8 meter sebanyak 4 alur di sepanjang jalur yang akan dilalui traktor, 3) traktor dijalankan dengan posisi tiap unit *aplikator* berada diatas masing-masing saluran penampung, 4) pupuk yang tersebar di atas saluran penampung diambil tiap satu meter sebanyak 5 sampel untuk tiap alur, 5) pupuk dimasukkan ke dalam kantong plastik, 6) pengujian dilakukan pada 3 variasi *pitch auger* pada kecepatan putar *engine* 1800 rpm.

Kapasitas lapangan mesin yang diamati meliputi kapasitas lapangan teoritis (K_{LT}), kapasitas lapangan efektif (K_{LE}) dan efisiensi. Parameter yang perlu dihitung pertama adalah v_t (m/s) atau kecepatan maju traktor yang dihitung menggunakan Persamaan 7, dalam hal ini t_{15} adalah waktu yang diperlukan traktor untuk melintas sepanjang 15 meter (s). *Layout* lahan untuk pengujian mesin dapat dilihat pada Gambar 5.

$$v_t = \frac{15}{t_{15}} \quad (9)$$

Selanjutnya kapasitas lapangan teoritis (K_{LT}), kapasitas lapangan efektif (K_{LE}) dan efisiensi lapangan (Et) dihitung menggunakan Persamaan 10-12. Dalam hal ini A adalah luas lahan petakan (m^2); t adalah waktu kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu petak (jam) dan Lt adalah lebar kerja (m). K_{LE} dan K_{LT} dalam satuan ha/jam dan Et dalam %.



Gambar 5. *Layout* lahan untuk pengujian mesin.

$$K_{LE} = \frac{A}{t} \tag{10}$$

$$K_{LT} = 0.36 \times L_t \times v_t \tag{11}$$

$$E_t = \frac{K_{LE}}{K_{LT}} \times 100\% \tag{12}$$

Hasil dan Pembahasan

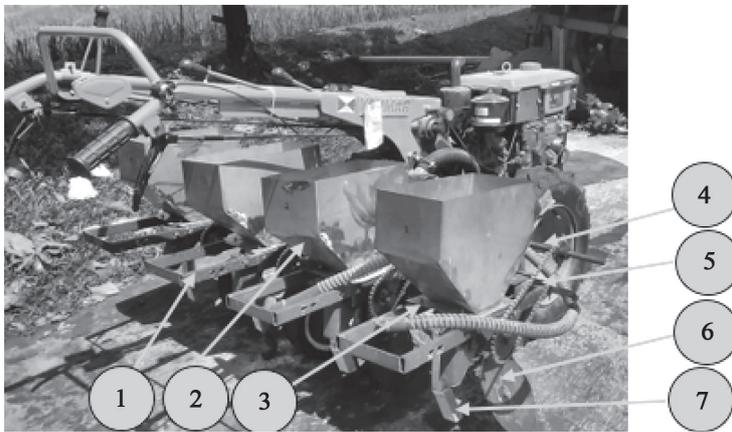
Karakteristik Pupuk NPK Jenis Phonska

Hasil pengukuran karakteristik pupuk NPK yang dijadikan sebagai dasar perancangan unit pemupuk adalah *bulk density* dan sudut curah. Selain itu diukur juga kadar air pupuk dan distribusi ukuran pupuk. *Bulk density* pupuk berdasarkan pengukuran adalah 0.938 g/cm³ dan sudut curah 31.37°. Kadar air pupuk saat pengujian adalah 3.195%.

Prototipe Unit Pemupuk Tipe Auger

Prototipe unit pemupuk kedelai tipe *auger* bertenaga traktor tangan telah berhasil dikembangkan. Komponen dari unit pemupuk ini antara lain: 1) rangka dudukan unit pemupuk, 2) *hopper* pupuk, 3) *metering device* pupuk menggunakan tipe *auger* beserta pengatur dosis, 4) Poros utama, 5) sistem transmisi rantai-sproket, 6) pembuka alur pupuk dan 7) saluran pengeluaran pupuk. Komponen-komponen tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.

Mesin ini dibuat untuk dapat memupuk dengan kapasitas empat alur tanaman kedelai dalam sekali lintasan. Konstruksi mesin dirancang agar dapat dipasang dan dilepas dengan mudah dengan traktor, sehingga pemasangannya memanfaatkan titik gandeng dari traktor tangan. Rangka penggandeng dirancang agar kuat menopang empat unit pemupuk. Rangka penggandeng dapat dilihat pada Gambar 7. Komponen lainnya yaitu *aplikator* pupuk, *hopper*



Keterangan:

1. Rangka pemupuk
2. Hopper pupuk
3. Metering device pupuk
4. Poros utama
5. Transmisi rantai-sproket
6. Pembuka alur pupuk
7. Saluran pupuk

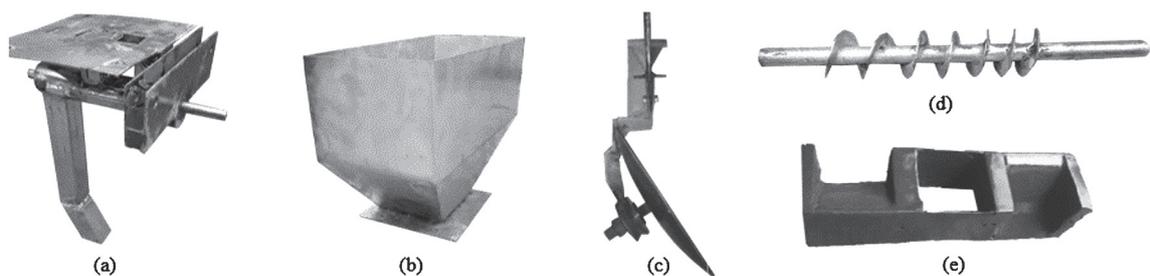
Gambar 6. Konstruksi dari prototipe mesin pemupuk tipe *auger* bertenaga traktor tangan untuk tanaman kedelai.



Keterangan

1. Rangka penggandeng
2. Poros utama
3. Transmisi rantai-sproket
4. *Aplikator* pupuk
5. Rangka dudukan *aplikator*

Gambar 7. Rangka penggandeng sekaligus dudukan unit pemupuk.



Gambar 8. (a) unit pemupuk; (b) *hopper* pupuk; (c) pembuka alur; (d) poros penjajah tipe *auger*; (e) pengarah pupuk (pengatur dosis).

pupuk, *metering device* pupuk tipe *auger*, dan pembuka alur dapat dilihat pada Gambar 8. Sistem transmisi untuk memutar poros penjatah pupuk memanfaatkan putaran dari roda kiri traktor sehingga pada poros kiri traktor dipasang sebuah sproket dengan jumlah gigi 33. Putaran poros roda traktor ditransmisikan terlebih dahulu ke poros utama mesin pemupuk sebelum diteruskan ke tiap unit pemupuk.

Kinerja Penjataan Pupuk Stasioner

Hasil penjataan pupuk secara stasioner dapat dilihat pada Gambar 9. Hasil pengujian stasioner menunjukkan nilai penjataan pupuk untuk tiap *pitch* berturut-turut adalah 7.42, 9.58 dan 11.60 g/putaran *auger* saat pengujian dengan kecepatan putar *engine* 1800 *rpm* (18 *rpm auger*) dan 7.88, 9.53 dan 11.49 g/putaran *auger* saat diuji pada 2000 *rpm* (20 *rpm auger*).

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat hubungan antara perubahan panjang *pitch* dengan dosis pupuk yang mana menunjukkan hubungan yang linear dengan nilai R^2 dari kedua kurvanya mencapai lebih dari 0.99. Perbedaan antara kedua perlakuan tersebut terdapat pada besarnya koefisien yang mana pengujian pada 1800 *rpm* menunjukkan kenaikan *pitch* satu satuan mm akan menambah dosis 0.41 g/put. *auger* sementara pada 2000 *rpm* menunjukkan kenaikan dosis sebesar 0.36 g/put. *auger* untuk setiap kenaikan satu satuan mm.

Besarnya *error* untuk tiap *pitch* berturut turut adalah 0.05, 3.38 dan 4.97 % pada kecepatan putar *engine* 1800 dan 6.04, 3.88 dan 5.87 % pada kecepatan putar 2000 *rpm*. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengaplikasian pupuk sudah mendekati target pemupukan yang diharapkan, hal ini dapat dilihat dari nilai *error* yang berada dibawah 10 % yaitu berkisar dari 0.05 sampai 6.04 %. Selain itu berdasarkan hasil tersebut dapat juga diketahui bahwa perubahan kecepatan *engine* tidak mempengaruhi besarnya penjataan pupuk untuk tiap meternya, hal ini disebabkan karena sistem transmisi dari unit penjatah pupuk didasarkan pada putaran poros roda traktor, sehingga ketika putaran *engine* berubah maka akan mengakibatkan putaran roda traktor dan putaran poros penjatah pupuk juga berubah dengan rasio perbandingan yang sama.

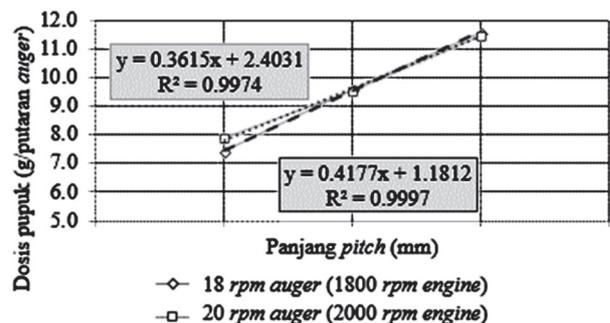
Kinerja Penjataan Pupuk di Lahan

Pengujian penjataan pupuk di lahan untuk setiap *pitch* berturut-turut adalah 5.91, 8.46 and 10.08 g/m saat diuji pada 1800 *rpm*. Sementara untuk nilai *error* penjataan untuk setiap *pitch*-nya berturut-turut adalah 1.48, 5.78 dan 0.78 %. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengujian penjataan di lahan lebih baik dari pada secara stasioner. Hal ini dapat dilihat dari nilai *error* penjatahannya yang lebih kecil dibanding pada saat pengujian secara stasioner. Hal ini dapat terjadi karena pada saat di lahan ada faktor *slip* roda yang mana faktor tersebut telah diperhitungkan pada perancangan ukuran dimensi *auger* secara teoritis yang besarnya diasumsikan 10%. Sementara pada pengukuran *slip* roda traktor di lahan diperoleh nilai *slip* sebesar 12.98 untuk roda kanan dan 12.62% untuk roda kiri. Ini menunjukkan bahwa nilai tersebut tidak begitu jauh berbeda dengan target *slip* yang telah diasumsikan.

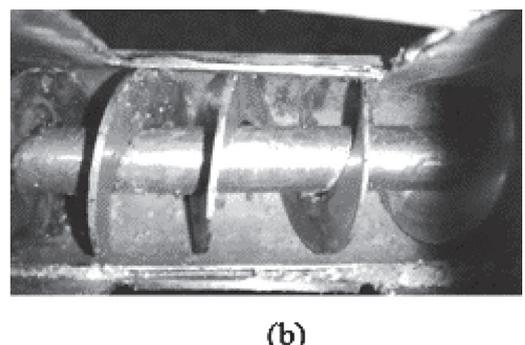
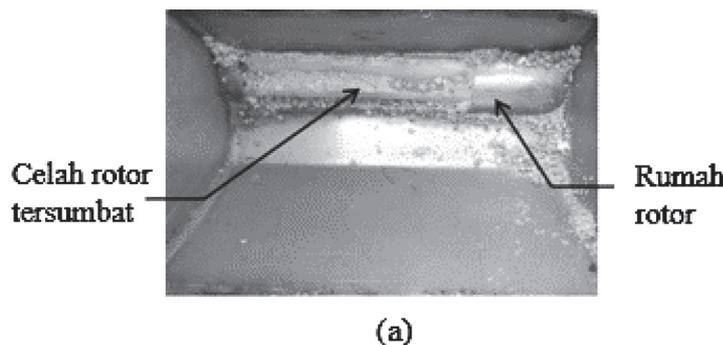
Selain itu pengujian mesin pemupuk tipe *auger* juga menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan pemupuk tipe *edge cell* yang mana penjataan menggunakan *metering device* tipe *auger* dapat menghindari penggumpalan pupuk pada *metering device* sehingga sangat baik untuk digunakan dan dikembangkan lebih lanjut. Gambar 10 menunjukkan perbedaan kondisi *metering device* setelah digunakan.

Kapasitas Lapangan

Kapasitas lapang teoritis mesin pemupuk tipe *auger* ini adalah 0.187 ha/jam, sementara kapasitas lapang efektifnya adalah 0.137 ha/jam dan efisiensi lapangan



Gambar 9. Hasil penjataan pupuk secara stasioner.



Gambar 10. (a) *Metering device* tipe *edge cell* (Sitorus, 2015); (b) *metering device* tipe *auger*.

sebesar 73.7% pada kecepatan putar *engine* 1800 rpm tingkat *Low-1* atau pada kecepatan maju rata-rata sebesar 0.325 m/s. Kapasitas dan efisiensi tersebut masih dapat ditingkatkan dengan meningkatkan kecepatan maju traktor atau kecepatan putar *engine*-nya. Pengukuran *slip* menunjukkan besarnya *slip* roda kiri dan kanan berturut-turut adalah 12.98 dan 12.62 %. Pemupukan menggunakan mesin ini telah berhasil meningkatkan kapasitas lapangan 1.7 kali lebih tinggi dibanding prototipe sebelumnya.

Simpulan

1. Pemupukan dengan mesin pemupuk tipe *auger* telah teruji dapat menghindari penggumpalan pupuk pada rotor *metering device* sehingga sangat baik untuk digunakan dan dikembangkan lebih lanjut.
2. Pengujian kinerja pemupuk stasioner menunjukkan hasil penjataan pupuk pada panjang *pitch* 15, 20 dan 25 mm berturut-turut sebesar 7.42, 9.58 dan 11.60 g/putaran *auger* pada putaran *engine* 1800 rpm (18 rpm *auger*) dan 7.88, 9.53 dan 11.49 g/putaran *auger* pada putaran *engine* 2000 rpm (20 rpm *auger*).
3. Pengujian kinerja pemupuk di lahan memberikan hasil penjataan pupuk pada panjang *pitch auger* 15, 20 dan 25 mm berturut turut sebesar 5.91, 8.46 and 10.08 g/m.
4. Tingkat akurasi penjataan pupuk cukup tinggi dimana pada pengujian di lahan diperoleh nilai *error* berturut-turut adalah 1.48, 5.78 dan 0.78 %.
5. Pemupukan menggunakan mesin ini telah berhasil meningkatkan kapasitas lapangan 1.7 kali lebih tinggi dibanding prototipe sebelumnya dimana kapasitas lapangan mencapai 0.137 ha/jam dengan efisiensi 73.7% pada saat diuji pada kecepatan putar *engine* 1800 rpm tingkat kecepatan *Low-1*. *Slip* roda kiri dan kanan berturut-turut adalah 12.98 dan 12.62 %.

Daftar Pustaka

- Badan Pusat Statistik. 2015. Produksi Tanaman Pangan 2015. BPS. Jakarta.
- Hermawan, W., R.S. Wasposito, M. Tjahja, T.C. Sunarti. 2012. Inovasi teknologi untuk pengembangan jagung dalam rangka mendukung ketahanan pangan dan energi. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 17(3): 172–179.
- Jamaludin, M.Z. 2016. Modifikasi unit aplikator pupuk pada mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Mardinata, Z., Zulkifli. 2014. Analisis kapasitas kerja dan kebutuhan bahan bakar traktor tangan berdasarkan variasi pola pengolahan tanah, kedalaman pembajakan dan kecepatan kerja. *Agrotech*. 34(3): 354-358.
- Permadi, K., Y. Haryati. 2015. Pemberian pupuk N,P,K berdasarkan pengelolaan hara spesifik lokasi untuk meningkatkan produktivitas Kedelai (Review). *Agrotrop*. 5(1): 1-8.
- Pratama, B.R., H.N. Sahaya. 2014. Strategi pengembangan usahatani kedelai untuk mewujudkan ketahanan pangan Indonesia. *Journal of Economics and Policy*. 7(2): 184–193.
- Ratnasari, D., M.K. Bangun, R.I.M. Damanik. 2015. Respons dua varietas kedelai (*Glycine max* (L.) Merrill.) pada pemberian pupuk hayati dan NPK majemuk. *Jurnal Online Agroekoteknologi*. 3(1): 276–282.
- Sabran, M., W. Eddy, M. Saleh. 2000. Pengujian galur kedelai di lahan pasang surut. *Buletin Agronomi*. 28(2): 41–48.
- Sitorus, A. 2015. Pengembangan mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan pengolahan tanah alur [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Sitorus, A., W. Hermawan., R.P.A. Setiawan. 2015. Pengembangan mesin penanam dan pemupuk jagung terintegrasi dengan pengolahan tanah alur. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 3(2): 81–88.