

# ANALISIS KEBUTUHAN TORSI PENJATAH PUPUK BUTIRAN TIPE *EDGE-CELL* UNTUK MESIN PEMUPUK JAGUNG

Torque Requirement Analysis of Edge-cell Type Metering Device for Corn Fertilizer Applicator

Annisa Nur Ichniarsyah<sup>1</sup>, Wawan Hermawan<sup>2</sup>, Tineke Mandang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pascasarjana Departemen Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, PO Box 220, Bogor, Jawa Barat

<sup>2</sup>Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, PO Box 220, Bogor, Jawa Barat

Email: annisanur\_i@yahoo.com, w\_hermawan@ipb.ac.id

## ABSTRAK

Penelitian mengenai desain penjatah pupuk yang dapat berfungsi lebih optimal dilakukan untuk mengatasi besarnya gaya gesek yang terjadi antara rotor penjatah dan ruang penjatah, serta terjadinya kemacetan perputaran rotor penjatah pupuk pada alat pemupuk dalam penelitian sebelumnya. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kebutuhan torsi penjatah pupuk tipe *edge-cell*. Model pendugaan matematis untuk menghitung kebutuhan torsi telah dibangun dan divalidasi melalui pengujian kebutuhan torsi. Pengukuran dilakukan menggunakan model alat pemupuk jagung yang dilengkapi dengan sensor pengukur torsi. Penjatah tersebut diputar menggunakan motor AC *variable speed*. Hasil pengukuran torsi menunjukkan bahwa penjatah tipe *edge-cell* mampu mengurangi kebutuhan torsi penjatahan hingga 68% (pupuk urea) dan 80% (pupuk TSP). Kemacetan yang terjadi akibat ganjalan butiran pupuk yang besar pada ruang penjatah tidak terjadi saat menggunakan penjatah tipe *edge-cell*. Hasil pengujian validasi model menunjukkan bahwa model matematis mampu menduga kebutuhan torsi dengan akurat hanya pada saat tingkat volume pupuk dalam *hopper* 25%. Semakin tinggi volume pupuk dalam *hopper* (50 dan 100%), hasil pendugaan torsi lebih besar sekitar dua hingga empat kali hasil pengukuran torsi. Volume pupuk dalam *hopper* tidak berpengaruh signifikan terhadap kebutuhan torsi pada rotor.

**Kata kunci:** Alat pemupuk jagung, penjatah pupuk, kebutuhan torsi, rotor tipe *edge-cell*

## ABSTRACT

A study on the design of metering device which could work more optimally was conducted to overcome the high friction between the rotor and its metering tube, and the clogging of fertilizer particle on the conventional rotor type metering device. An edge-cell rotor type metering device was proposed to overcome the problems. Objectives of the study were to analyze the torque requirement of the edge-cell type metering device and to design metering device of corn fertilizer applicator with lower torque requirements and high accuracy. A mathematical model to calculate the torque requirement of the rotor was developed and validated using torque measurement in the experiment. Experiments were conducted using a model of fertilizer applicator equipped with a rotor torque measuring sensor and rotated using an electric motor. The torque measurement results showed that the edge-cell type metering device could reduce the torque requirement up to 68% and 80% when tested using urea and TSP, respectively. By using the edge-cell type rotor, there was no problem of clogging of fertilizer particle on the rotor system. The validation results showed that the mathematical model could predict accurately the torque requirement of the rotor only on the lower volume of fertilizer (25%) in the hopper. However, on the higher volume of fertilizer (50% and 100%) in the hopper, the calculated torques was 2-4 times higher than the actual measuring torques. The amount of the fertilizer in the hopper not significantly affected the torque requirement of the rotor.

**Keywords:** Fertilizer applicator, metering device, torque requirement, edge-cell type rotor

**PENDAHULUAN**

Penelitian yang berkaitan dengan mesin pemupuk dan penanam jagung telah dilakukan sebelumnya. Syafri (2010) membuat rancangbangun mesin penanam jagung terintegrasi dengan penggerak traktor roda dua. Mesin ini (prototipe-1) menggabungkan tiga kegiatan yaitu pengolahan tanah, penanam benih jagung, dan sekaligus pemupuk butiran. Dengan pengintegrasian ini diharapkan waktu kerja dan biaya dapat dipangkas hingga menjadi sepertiganya. Penjataan benih dan pupuk digerakkan oleh roda penggerak yang bersinggungan dengan puncak guludan yang terbentuk. Prototipe ini dirancang untuk menanam benih jagung dengan jarak tanam 75 x 20 cm dengan jumlah benih 1-2 benih per lubang pada kedalaman 2.5-5 cm. Untuk alat pemupuk, prototipe-1 ini menggunakan penjatah tipe *agitator feed* yang dirancang untuk mengeluarkan dosis 150 kg/ha urea, 200 kg/ha TSP, dan 100 kg/ha KCl. Kekurangan prototipe ini antara lain jarak tanam benih yang tidak seragam, dosis pupuk tidak dapat diatur, kemacetan roda penggerak sebesar 38% sehingga tidak mampu memutar penjatah pupuk dengan baik. Putra (2011) memodifikasi mesin penanam dan pemupuk jagung hasil penelitian Syafri. Mesin ini (prototipe-2) mengalami modifikasi antara lain memisahkan *hopper* pupuk urea dengan *hopper* pupuk TSP dan KCl, memodifikasi desain roda penggerak agar mampu memutar penjatah pupuk dengan baik dengan memperbesar luas permukaan dan jumlah sirip serta meningkatkan torsi, pembuatan penjatah pupuk yang dilengkapi dengan pengatur dosis, dan menghaluskan pupuk TSP yang berukuran besar sebelum dimasukkan ke dalam *hopper*. Hasil modifikasi menunjukkan jarak alur benih dan pupuk lebih baik, kedalaman tanam mendekati kedalaman yang diharapkan, tingkat kemacetan roda penggerak berkurang menjadi 31%. Meskipun demikian, nilai kemacetan roda penggerak masih cukup besar sehingga penjataan benih dan pupuk masih belum sempurna.

Melalui penelitian-penelitian terdahulu dapat disimpulkan bahwa rotor penjatah pupuk sering terhambat putarannya akibat gesekan yang berlebihan dan juga adanya ganjalan butiran pupuk berukuran besar pada bagian dasar *hopper*. Karena roda penggerak mendapatkan daya putar atau torsi dari menggelindingnya roda di permukaan guludan, saat terjadi ganjalan menyebabkan kemacetan putaran rotor. Akibatnya penjataan pupuk tidak seragam dan tidak akurat. Oleh karena itu, diperlukan suatu desain penjatah pupuk yang dapat bekerja lebih optimal untuk mengatasi masalah-masalah di atas. Penjatah pupuk tersebut bertipe *edge-cell* yang didesain untuk meminimalisir gesekan antara pupuk dengan ujung rotor sehingga hasil pemupukan seragam, dan kebutuhan torsi pemutaran rotor kecil.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kebutuhan torsi penjatah pupuk tipe *edge-cell* (rotor bercelah). Penjatah yang baru ini akan direkomendasikan untuk menggantikan tipe penjatah pupuk yang digunakan pada penelitian terdahulu jika hasil kebutuhan torsi nya lebih rendah.

**METODE PENELITIAN**

**Waktu dan Tempat**

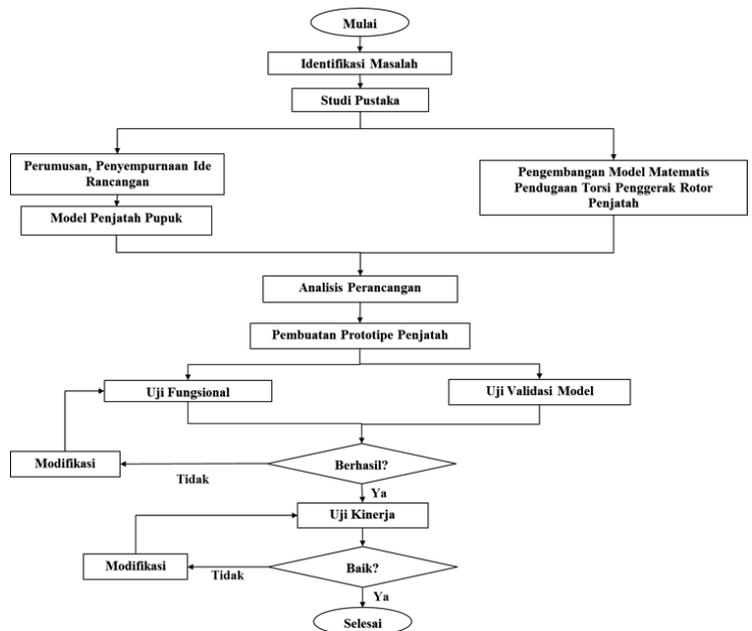
Penelitian ini dilaksanakan dari bulan Januari-November 2012 di Laboratorium Mekanika Tanah dan Laboratorium Lapangan Siswadi Soepardjo, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

**Bahan dan Alat**

Alat yang digunakan untuk penelitian antara lain: peralatan lab mekanika tanah, peralatan bengkel, komputer, *software* AutoCAD, *strain gage*, *bridge box* (Kyowa, DB-120), *handy strain meter* (Kyowa, UCAM-1A), *slip ring* tipe S4, *tachometer digital* (Krisbow KW 06-303), *stopwatch*, timbangan, kamera digital, akrilik tebal 3 dan 5 mm, poros *stainless steel* diameter 12 mm, silinder pejal berbahan polietilen berdiameter 60 mm, lem (Araldite, Dextone, *Power Glue* dan lem akrilik), sproket, rantai, dop PVC, dan besi siku. Bahan untuk pengujian kinerja antara lain: pupuk Urea dan TSP.

**Prosedur Penelitian**

Tahapan penelitian secara umum dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir proses penelitian

Bagian yang menjadi fokus bahasan dalam penelitian ini adalah analisis kebutuhan torsi penjата pupuk tipe *edge-cell*, pengembangan model matematis pendugaan torsi penggerak rotor penjата, dan uji validasi model. Analisis kebutuhan torsi dilakukan untuk membandingkan besar kebutuhan torsi tipe penjата modifikasi dan konvensional. Model matematis pendugaan torsi dibangun untuk mengestimasi besarnya kebutuhan torsi putar rotor penjата. Nantinya, dasar-dasar perhitungan matematis pendugaan torsi dapat digunakan pada saat akan mengembangkan alat pemupuk menggunakan tipe penjата pupuk yang berbeda. Uji validasi model dilakukan untuk melihat kesesuaian antara hasil pendugaan torsi dengan hasil pengukuran kebutuhan torsi.

Identifikasi masalah dilakukan dengan mengamati masalah-masalah yang muncul pada prototipe alat penanam dan pemupuk jagung yang telah diteliti sebelumnya terutama pada bagian penjатаan pupuk butiran. Terdapat beberapa permasalahan yang menyebabkan penjатаan pupuk tidak seragam antara lain: 1) rotor penjата pupuk macet karena ada butiran pupuk yang mengganjal ujung sudu rotor dengan pembatasnya, 2) beban vertikal dari pupuk yang berada di atas rotor yang menyebabkan tingginya beban gesekan dan beban geser rotor pada pupuk.

Studi pustaka dilakukan setelah masalah yang timbul berhasil diidentifikasi. Tujuan utamanya adalah untuk menentukan komponen-komponen dan sistem yang akan digunakan. Komponen tersebut antara lain *hopper* dan *metering device*. Sistem yang digunakan adalah sistem penjатаan pupuk tipe *edge-cell* atau rotor bercelah.

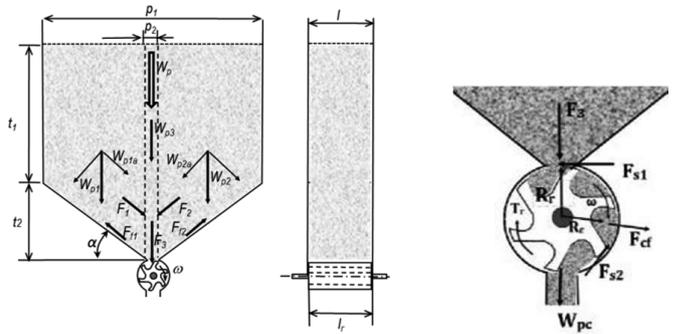
Tahapan selanjutnya adalah perumusan dan penyempurnaan ide rancangan. Adapun bagian-bagian yang mengalami modifikasi dapat dilihat pada Tabel 1.

**Model Pendugaan Torsi Rotor Penjата**

Pengembangan model pendugaan torsi rotor penjата diperoleh berdasarkan hasil analisis gaya-gaya yang bekerja

selama proses pemutaran penjата pupuk. Analisis pendugaan torsi ini dilakukan untuk membandingkan kebutuhan torsi pada kedua tipe penjата tersebut. Analisis pendugaan torsi pada rotor konvensional digunakan dengan pendekatan seperti yang terlihat pada Gambar 2.

Gaya-gaya yang bekerja pada pupuk di dalam *hopper* diduga dari persamaan-persamaan berikut ini:



Gambar 2. Analisis pendugaan torsi rotor konvensional

$$W_p = (l(p_1(t_1 + 0.5t_2)) \times \rho_p) \times g \dots\dots\dots(1)$$

$$F_{f1} = \mu_k \left( \left( l \left( \left( \frac{p_1 - p_2}{2} \right) (t_1 + 0.5t_2) \right) \times \rho_p \right) \times g \times \cos \alpha \right) \dots\dots\dots(2)$$

$$W_{p1a} = W_{p2a} = \left( \left( l \left( \left( \frac{p_1 - p_2}{2} \right) (t_1 + 0.5t_2) \right) \times \rho_p \right) \times g \times \sin \alpha \right) \dots\dots\dots(3)$$

$$F_{f2} = \mu_k \left( \left( l \left( \left( \frac{p_1 - p_2}{2} \right) (t_1 + 0.5t_2) \right) \times \rho_p \right) \times g \times \cos \alpha \right) \dots\dots\dots(4)$$

$$F_1 = W_{p1a} - F_{f1} \dots\dots\dots(5)$$

$$F_2 = W_{p2a} - F_{f2} \dots\dots\dots(6)$$

$$F_3 = W_{p3} + F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \alpha = \left( (l(p_2(t_1 + t_2)) \times \rho_p) \times g \right) + (F_1 + F_2) \sin \alpha \dots\dots\dots(7)$$

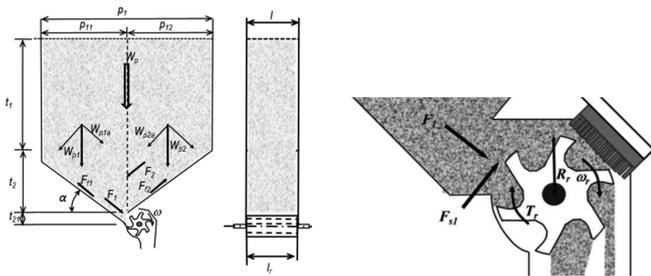
Sehingga, analisis perhitungan torsi pada rotor konvensional dapat diturunkan menggunakan persamaan berikut ini:

$$T_r = (F_{s1} + F_{s2}) \times R_r \dots\dots\dots(8)$$

Tabel 1 Bagian yang dimodifikasi

No.	Kelemahan prototipe terdahulu	Komponen yang diperbaiki	Konsep modifikasi
1.	Beban pupuk yang masuk ke ruang penjата terlalu besar	<i>Hopper</i> dan <i>metering device</i>	Posisi <i>metering device</i> digeser sehingga tidak tepat di bawah saluran pengeluaran <i>hopper</i>
2.	Pupuk lengket di <i>metering device</i>	<i>Metering device</i>	Bahan <i>metering device</i> diganti menjadi bahan polietilen
3.	Hasil penjатаan tidak seragam	<i>Metering device</i>	Penambahan sikat pada bagian dinding pengeluaran untuk menjaga keseragaman keluaran pupuk
4.	Pupuk banyak yang hancur akibat tergerus dinding <i>metering device</i>	<i>Metering device</i>	Jarak antara sudu rotor dan <i>metering device</i> diperbesar
5.	<i>Hopper</i> berkarat	<i>Hopper</i>	Mengganti bahan <i>hopper</i> dengan akrilik

Adapun analisis pendugaan torsi pada rotor *edge-cell* pertama-tama dilakukan dengan menganalisis gaya-gaya yang bekerja pada *hopper* seperti pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. Analisis pendugaan torsi rotor *edge-cell*

Gaya-gaya yang bekerja pada pupuk di dalam *hopper* diduga dari persamaan-persamaan berikut ini:

$$W_p = V_p \times \rho_p \times g \dots\dots\dots (9)$$

$$F_{f1} = \mu_h (((p_{11}(t_1 + 0.5(t_2 + t_{21}))) \times \rho_p) \times g) + F_2) \times \cos \alpha \dots\dots (10)$$

$$W_{p1a} = l(p_{11}(t_1 + 0.5(t_2 + t_{21})) \times \rho_p \times g) \times \sin \alpha \dots\dots\dots (11)$$

$$F_1 = W_{p1a} - F_{f1} \dots\dots\dots (12)$$

Sehingga, analisis perhitungan torsi pada rotor tipe *edge-cell* dapat diturunkan menggunakan persamaan 13 berikut. Hasil perhitungan dari rumus yang dibangun kemudian dibandingkan dengan hasil pengujian.

$$T_r = F_{s1} \times R_r = (C_p(t_{21} \times l_r) + F_1 \tan \phi_p) \times R_r \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

- $W_p, W_{p1}, W_{p2}$  : komponen gaya berat pupuk (N)
- $F_{f1}, F_{f2}$  : komponen gaya gesek pupuk-dinding *hopper* (N)
- $F_1, F_2, F_3$  : komponen gaya di penjatah pupuk (N)
- $\alpha$  : sudut kemiringan *hopper* (°)
- $g$  : percepatan gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)
- $\rho_p$  : berat jenis pupuk (g/cm<sup>3</sup>)
- $\mu_k$  : koefisien gesek antara pupuk dengan bahan *hopper*
- $\phi_p$  : sudut gesekan dalam pupuk (°)
- $m_{pc}$  : massa pupuk pada celah penjatah (g)
- $\omega$  : kecepatan sudut rotor penjatah (rad/s)
- $R_c$  : jari-jari celah rotor (cm)
- $l_r$  : lebar rotor (cm)

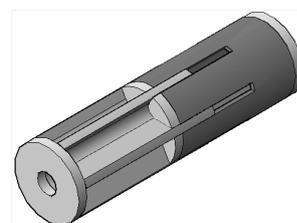
**Analisis Perancangan dan Modifikasi Penjatah Pupuk**

Tahapan analisis perancangan bertujuan untuk menganalisis rancangan yang akan dibuat sebelum dilakukan pembuatan/pabrikasi prototipe. Untuk keperluan analisis, dilakukan penentuan dosis pemupukan yang umum dilakukan

untuk budidaya jagung (dari literatur dan pedoman budidaya jagung) dan pengukuran karakteristik pupuk. Sifat karakteristik pupuk yang diperlukan untuk keperluan analisis antara lain ukuran partikel, sifat higroskopisitas pupuk, *bulk density*, dan sudut curah (De, 1989). Selain itu yang diperlukan untuk analisis adalah distribusi ukuran partikel dan koefisien gesek pupuk dengan bahan (Hofstee dan Huistman, 1990).

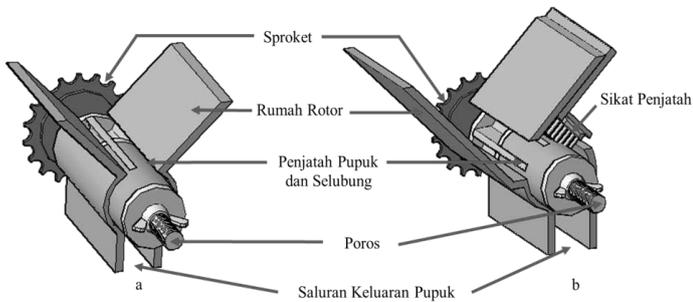
Rancangan fungsional meliputi proses perancangan komponen-komponen alat penjatah pupuk antara lain *hopper* yang berfungsi untuk menampung pupuk sebelum masuk ke ruang penjatah. Menurut Mehring dan Cumings dalam Bainer dkk. (1961) salah satu faktor penting yang mempengaruhi besarnya keluaran pupuk adalah kemudahan pupuk untuk mengalir yang dipengaruhi oleh higroskopisitas, bentuk dan ukuran partikel, penggumpalan, berat spesifik pupuk, kelembaban relatif tempat menyimpan, dan kerapatan benda. Oleh karena itu, sudut curah pupuk (*angle of repose*) perlu diperhatikan pada pembuatan *hopper*. Sudut pada *hopper* sebaiknya sekitar 40°. Selain sudut curah, hal yang perlu diperhatikan pada pembuatan *hopper* antara lain bahan pembuatnya. Pupuk memiliki sifat yang korosif karena memiliki kadar pH yang rendah. Oleh karena itu, *hopper* sebaiknya dibuat dari bahan anti korosi dan anti karat seperti bahan plastik, *stainless steel*, atau *fiberglass* (Champbell, 1990).

Selain *hopper*, komponen yang dirancang adalah rotor yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga putar dari motor AC *variable speed* dan menggunakannya untuk memutar poros rotor, dan penjatah pupuk yang fungsinya berupa membawa pupuk dari *hopper* ke saluran pupuk dan mengatur volume panjataan pupuk sesuai dengan dosis yang direncanakan. Tipe penjatah pupuk *edge-cell* yang dipilih merupakan tipe penjatah umpan positif di mana roda penjatah dipasangkan pada jarak yang disyaratkan sepanjang *hopper* dan diputar oleh poros bulat (Gambar 4). Dosis panjataan pupuk diatur dengan mengubah kecepatan putar rotornya (Srivastava dkk., 2006).



Gambar 4. Rotor dan selubung rotor

Rancangan struktural adalah analisis dari komponen-komponen alat yang akan dibuat yang telah dibahas pada rancangan fungsional. Bentuk, ukuran, dan bahan dari masing-masing komponen ditentukan melalui rancangan



Gambar 5. Penjajah pupuk; (a) konvensional dan (b) *edge-cell*

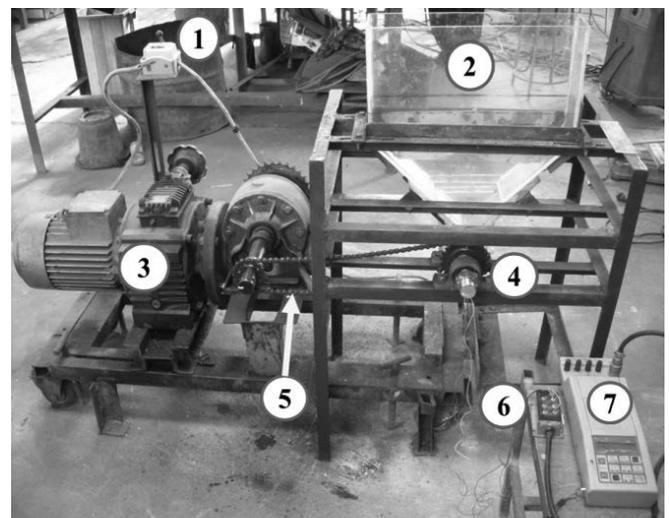
struktural. Perbandingan model penjajah pupuk konvensional dan *edge-cell* dapat dilihat pada Gambar 5.

Perbedaan antara model lama dan model baru penjajah pupuk ada pada posisi penjajah pupuk terhadap *hopper* dan adanya sikat penjajah pada tipe *edge-cell* untuk menjaga agar tidak ada pupuk berlebih yang ditampung celah penjajah. Letak penjajah pupuk tipe konvensional (Gambar 5a) langsung berada di bawah *hopper*. Sehingga pupuk dari dalam *hopper* akan langsung mengalir ke bagian penjajah pupuk. Sedangkan pada penjajah pupuk yang telah dimodifikasi (Gambar 5b), letak penjajah pupuk tidak tepat berada di bukaan *hopper*, melainkan digeser sedikit ke samping bukaan *hopper*. Perbedaan lainnya ada pada posisi rotor terhadap rumah rotor. Jarak antara dinding rumah rotor dan ujung sudu rotor pada tipe konvensional dibuat serapat mungkin. Hal ini bertujuan untuk mencegah pupuk yang jatuh melewati sela-sela celah tersebut. Sebaliknya, dinding tipe *edge-cell* berjarak cukup jauh dari dinding rotor. Tujuannya adalah untuk mengurangi gaya gesek antara dinding rumah rotor dan sudu rotor. Adanya gaya gesek ini mengakibatkan torsi yang dibutuhkan untuk memutar poros rotor semakin besar. Selain itu, *hopper* pada penjajah tipe *edge-cell* dilengkapi sikat yang letaknya berada di atas penjajah pupuk. Fungsi sikat ini adalah untuk mengontrol kelebihan pengambilan pupuk yang dilakukan oleh penjajah pupuk sehingga pupuk yang berlebih tidak bergesekan dengan dinding penjajah.

**Metode Pengujian**

Tahap pengujian yang dilakukan antara lain uji kebutuhan torsi dan uji validasi model. Untuk pengujian

kebutuhan torsi dilakukan pemasangan *strain gage* pada poros pemutar rotor. Bagian ujung poros dilengkapi dengan *slip ring*. Kabel yang berasal dari *slip ring* disambungkan ke *bridge box* dan keluaran dari *bridge box* dihubungkan ke *handy strain meter*. Pupuk dimasukkan ke dalam *hopper* dan poros penjajah yang dihubungkan dengan motor AC *variable speed* diputar selama 30 detik. Keluaran nilai *strain* kemudian dikonversi menjadi torsi. Pengujian dilakukan dengan tiga kali ulangan. Hasil pengujian kebutuhan torsi pada tipe konvensional kemudian dibandingkan dengan tipe *edge-cell*. Bahan pengujian yang digunakan adalah pupuk urea dan TSP. Parameter pengujian kebutuhan torsi pupuk urea antara lain lebar bukaan selubung rotor penjajah (50, 75, dan 100%) dan volume pupuk dalam *hopper* (25, 50, dan 100%). Sedangkan pada pengujian untuk pupuk TSP hanya berupa perubahan volume *hopper*. Kecepatan putar rotor yang digunakan adalah 15 dan 35 RPM. Skema susunan alat untuk keperluan pengujian terdapat pada Gambar 6. Adapun uji validasi model dilakukan untuk mengetahui ketepatan model pendugaan torsi yang telah dibangun dari persamaan 1-13 dengan hasil pengukuran kebutuhan torsi.



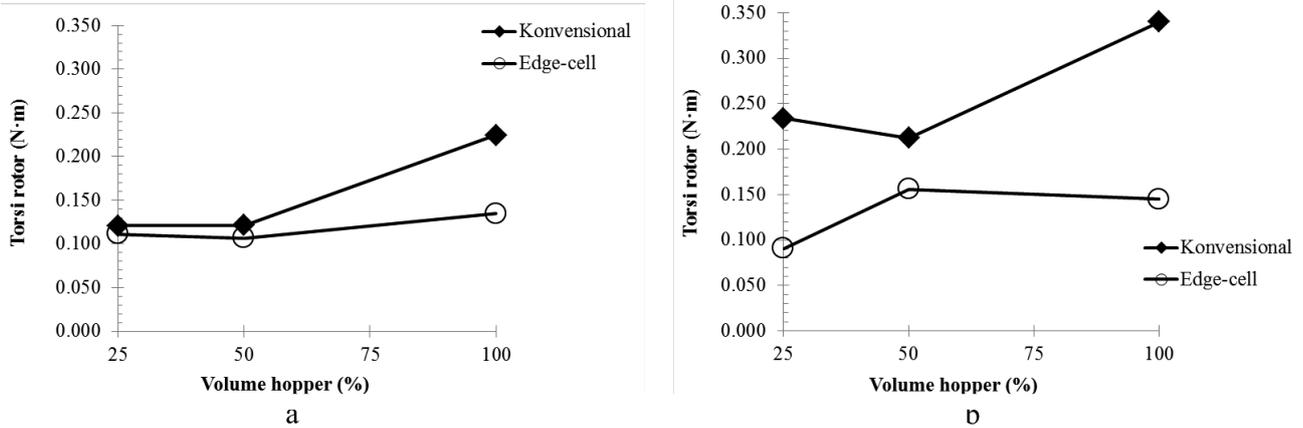
Keterangan:  
 1. Saklar  
 2. *Hopper*  
 3. Motor AC *variable speed*  
 4. Poros penjajah dan *slip ring*  
 5. Rantai  
 6. *Bridge box*  
 7. *Handy strain meter*

Gambar 6. Skema susunan alat pengujian kebutuhan torsi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kebutuhan Torsi

Hasil pengujian kebutuhan torsi pupuk urea (bukaan selubung rotor 100%) dapat dilihat pada Gambar 7.



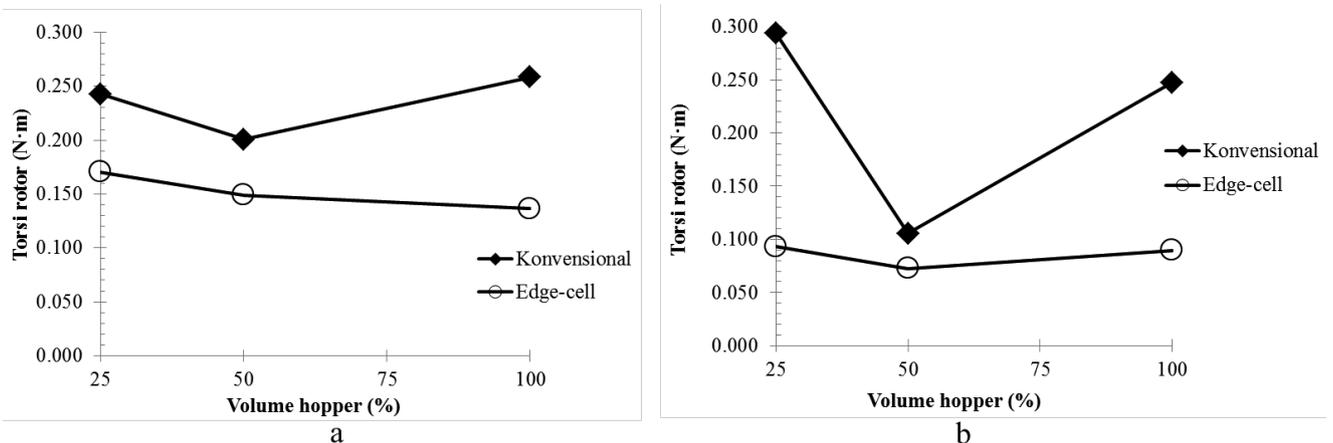
Gambar 7. Perbandingan kebutuhan torsi kedua tipe penjatar pupuk pada pupuk urea bukaan selubung 100%; (a) 15 RPM dan (b) 35 RPM

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kebutuhan torsi penjatar tipe *edge-cell* lebih rendah daripada tipe konvensional. Penurunan kebutuhan torsi tipe penjatar *edge-cell* mencapai hingga setengah dari kebutuhan torsi penjatar tipe konvensional. Gambar 7 di atas menunjukkan bahwa pada penjatar tipe *edge-cell*, peningkatan volume pupuk dalam *hopper* tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan kebutuhan torsi. Adapun hasil pengujian kebutuhan torsi untuk penjataran pupuk urea dengan bukaan selubung 75% dapat dilihat pada Gambar 8.

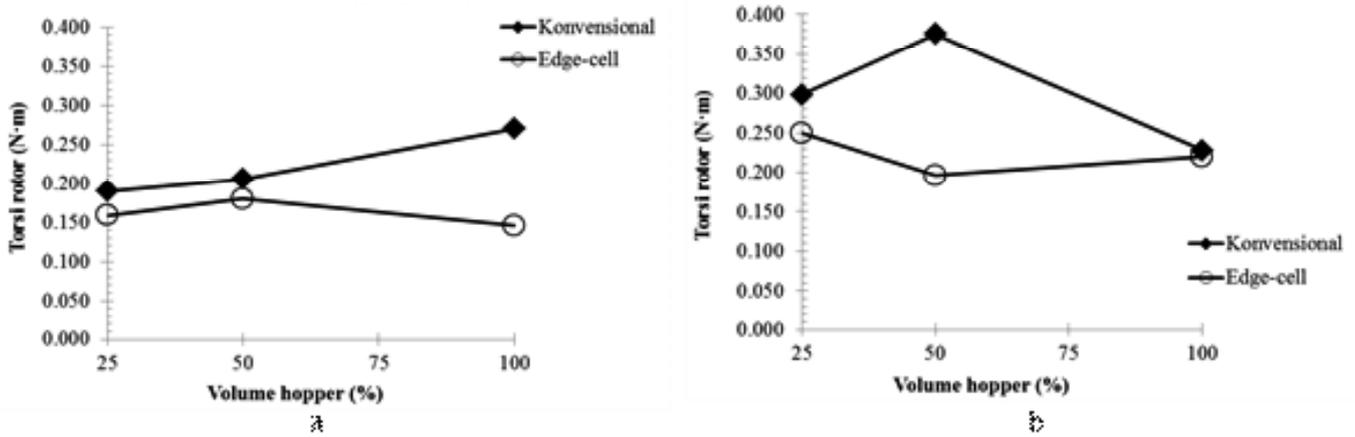
Seperti halnya pada pengujian dengan bukaan selubung 100%, hasil pengujian kebutuhan torsi penjatar tipe *edge-cell* dengan bukaan selubung 75% lebih rendah daripada tipe penjatar konvensional. Selain itu, terlihat pula bahwa perubahan volume pupuk dalam *hopper* dan kecepatan putar

rotor pada penjatar tipe *edge-cell* tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan torsi. Penyebabnya, pada penjatar tipe terdahulu tidak terdapat sikat penjatar, sehingga ketika putaran rotor lebih kencang dan butiran pupuk berlebih masuk ke ruang penjatar, pupuk bergesekan dengan dinding bawah *hopper* dan dinding ruang penjatar sehingga menyebabkan nilai kebutuhan torsi putar rotor penjatar menjadi tinggi. Adapun hasil pengujian kebutuhan torsi pada bukaan selubung 50% dapat dilihat pada Gambar 9.

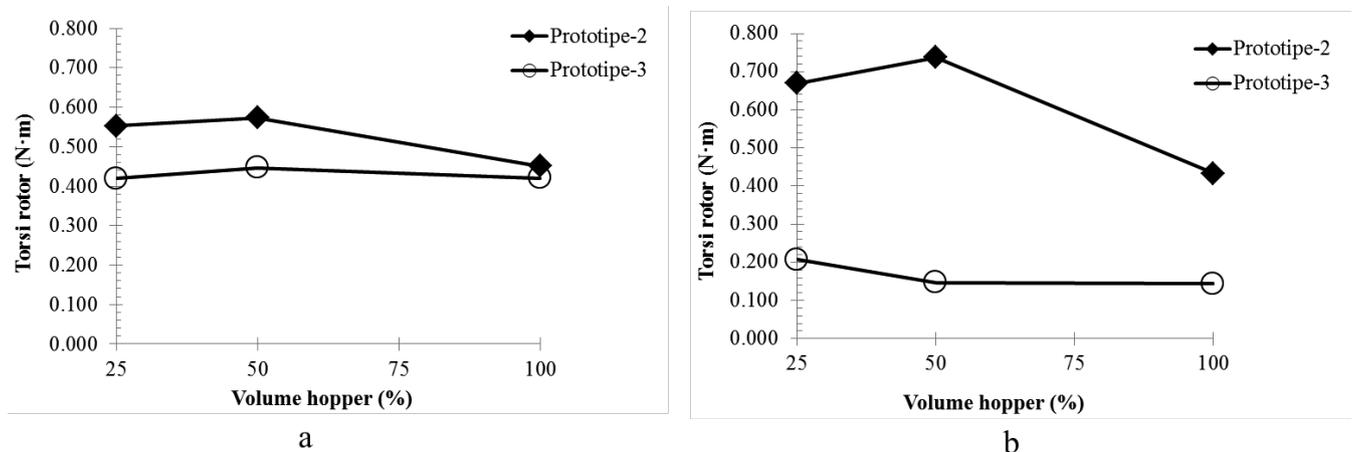
Hasil pengujian kebutuhan torsi untuk penjataran pupuk urea pada bukaan selubung 50, 75, dan 100% tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan torsi tipe *edge-cell* lebih rendah daripada tipe konvensional. Pengurangan kebutuhan torsi ini tercapai hingga 68% dibandingkan dengan tipe konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa tipe penjatar *edge-*



Gambar 8. Perbandingan kebutuhan torsi kedua tipe penjatar pupuk pada pupuk urea bukaan selubung 75%; (a) 15 RPM dan (b) 35 RPM



Gambar 9. Perbandingan kebutuhan torsi kedua tipe penjatar pupuk pada pupuk ureabukaan selubung 50%; (a) 15 RPM dan (b) 35 RPM



Gambar 10. Perbandingan kebutuhan torsi kedua tipe penjatar pupuk pada pupuk TSP; (a) 15 RPM dan (b) 35 RPM

cell layak digunakan untuk menggantikan tipe konvensional dalam pemupukan jagung. Adapun pengujian kebutuhan torsi untuk penjataran pupuk TSP dapat dilihat pada Gambar 9.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kebutuhan torsi penjataran pupuk TSP pada tipe konvensional jauh lebih tinggi daripada tipe *edge-cell*, dimana semakin meningkatnya kecepatan putar rotor penjatar menyebabkan selisih kebutuhan torsi antara kedua tipe penjatar pupuk semakin besar. Pada tipe *edge-cell*, perubahan kecepatan putar rotor penjatar dan volume pupuk dalam *hopper* tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan kebutuhan torsi pupuk. Besarnya penurunan kebutuhan torsi yang diperoleh menggunakan penjatar tipe *edge-cell* dapat mencapai hingga 80% karena pada tipe konvensional jarak antara ujung sudu rotor penjatar dengan dinding ruang penjatar sempit. Ukuran butiran pupuk TSP yang dijatuhkan cukup besar dan kasar sehingga saat dijatuhkan menggunakan tipe konvensional terjadi gesekan yang cukup besar terjadi di ruang penjatar pupuk. Karena

ruang penjatar terbuat dari akrilik, ruang penjatar mudah pecah/patah saat digunakan untuk menjatar pupuk TSP.



Gambar 11. Retakan pada ruang penjatar pupuk tipe konvensional

**Validasi Model**

Validasi model dilakukan untuk membandingkan torsi penjataan pupuk antara model dan pengujian. Pendugaan nilai torsi penjataan pupuk dibangun dengan menggunakan Persamaan 1-13. Melalui validasi ini, ketepatan model torsi yang dibangun akan dibandingkan dengan hasil pengukuran torsi penjataan pupuk. Hasil validasi model penjataan pupuk urea tipe konvensional dapat dilihat pada Gambar 12.

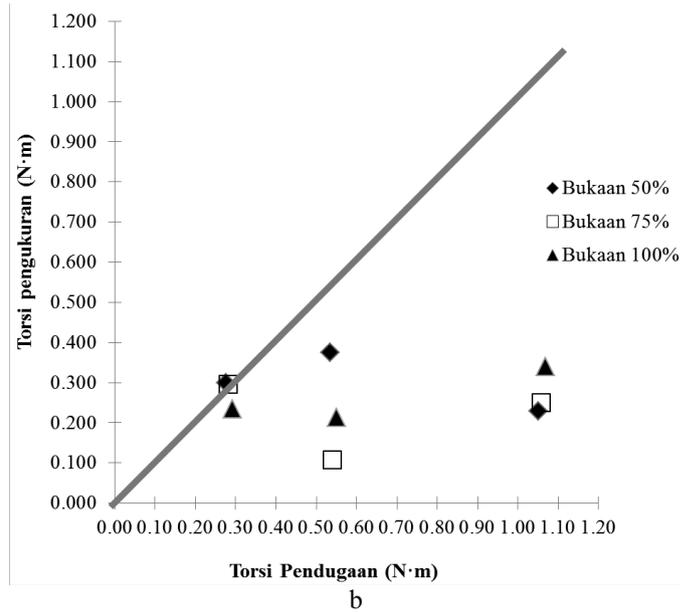
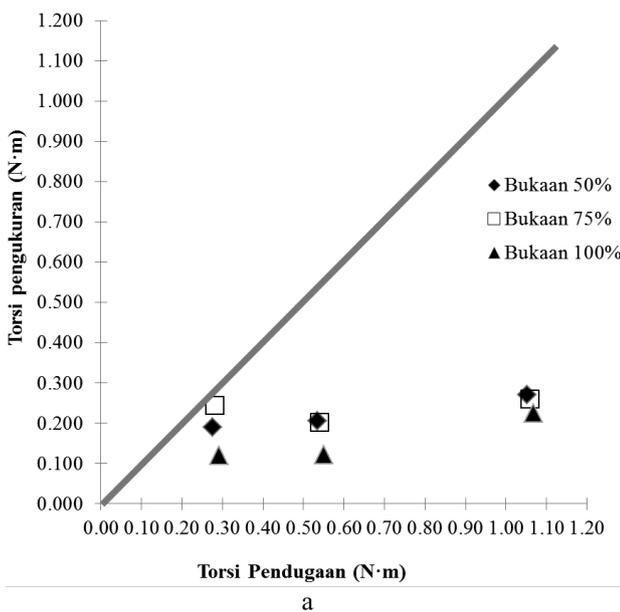
Pengujian tersebut dilakukan pada tiga kondisi volume pupuk dalam *hopper*. Titik-titik yang mengumpul pada bagian kiri grafik adalah saat volume pupuk dalam *hopper* 25%. Titik-titik yang berada pada bagian tengah adalah hasil saat volume *hopper* 50%, dan titik-titik yang mengumpul pada bagian kanan adalah saat volume *hopper* 100%. Sedangkan garis berwarna oranye merupakan garis 45° yang menunjukkan ketepatan nilai torsi pendugaan terhadap nilai torsi pengukuran. Saat titik-titik pada grafik tersebut berada dekat dengan garis oranye, maka hal ini menunjukkan bahwa hasil pendugaan torsi mendekati hasil pengukuran torsi. Artinya, model pendugaan torsi yang dibangun cukup akurat untuk menduga nilai kebutuhan torsi putar penjataan pupuk. Hal ini juga berlaku pada pengujian validasi model tipe *edge-cell* pada Gambar 13.

Hasil pengujian validasi model penjataan tipe konvensional untuk penjataan pupuk urea pada Gambar 12 menunjukkan bahwa saat volume *hopper* 25%, hasil pengukuran torsi hampir sesuai dengan hasil pendugaan torsi. Akan tetapi, adanya penambahan volume *hopper* menunjukkan semakin jauh hasil pendugaan dan pengukuran yang diperoleh. Pada saat volume *hopper* 50%, torsi pendugaan berada pada

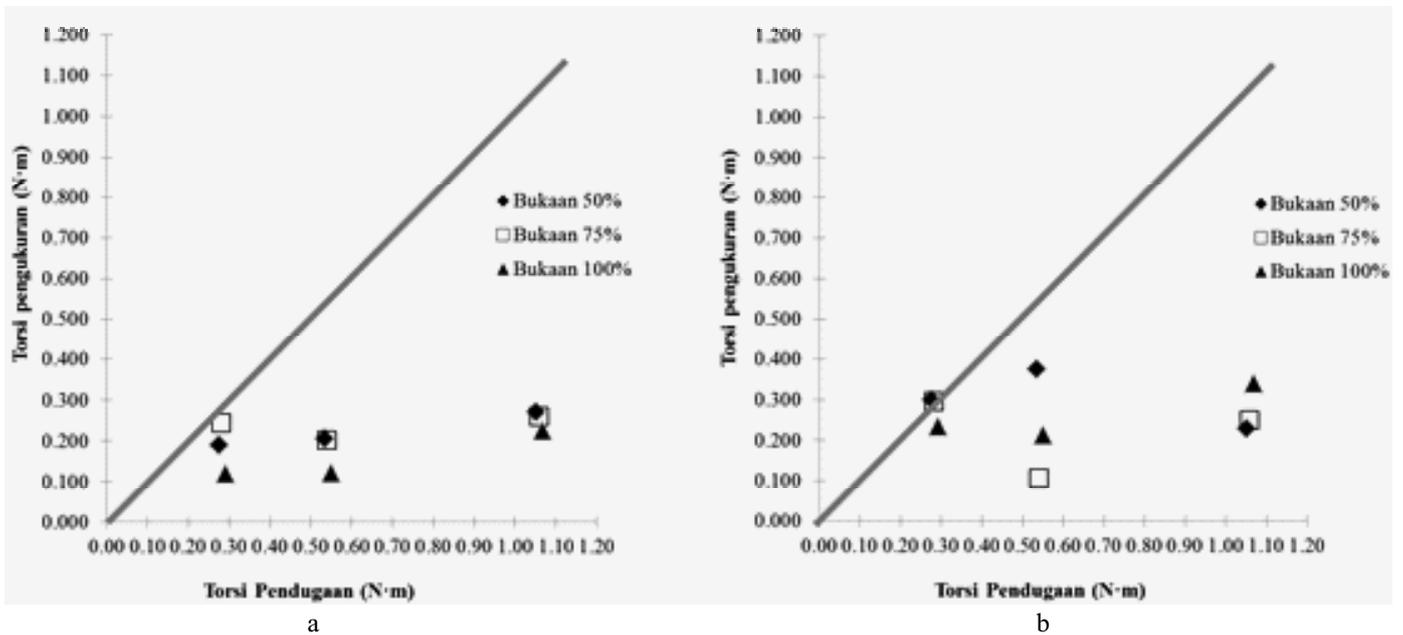
kisaran dua kali hasil torsi pengukuran. Sedangkan pada saat volume *hopper* 100%, torsi pendugaan berada pada kisaran nilai lima kali hasil torsi pengukuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan volume pupuk dalam *hopper* tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kebutuhan torsi penjataan pupuk. Pada model pendugaan torsi, perubahan volume pupuk dimasukkan dalam parameter perhitungan gaya berat pupuk dalam *hopper* (persamaan 1 dan 9). Sehingga, pada model pendugaan torsi, semakin tinggi volume pupuk dalam *hopper* menyebabkan nilai kebutuhan torsi semakin meningkat. Hasil pengukuran torsi menunjukkan bahwa pada tingkat volume pupuk dalam *hopper* yang berbeda-beda, kebutuhan torsi yang ditunjukkan tidak berbeda jauh. Adapun hasil validasi model penjataan pupuk urea tipe *edge-cell* dapat dilihat pada Gambar 13.

Hasil validasi model penjataan tipe *edge-cell* menunjukkan bahwa hasil pengukuran kebutuhan torsi pada volume pupuk dalam *hopper* 25% cukup mendekati hasil pendugaan torsi. Namun, semakin meningkatnya volume pupuk dalam *hopper* menyebabkan perbedaan nilai kebutuhan torsi antara hasil pendugaan dan pengukuran yang semakin jauh. Pada saat volume pupuk dalam *hopper* 100%, nilai torsi pendugaan sekitar tiga kali nilai torsi pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan volume *hopper* tidak memberi pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan kebutuhan torsi.

Terdapat dua dugaan yang menyebabkan torsi hasil pengukuran lebih kecil daripada torsi pendugaan pada tingkat volume pupuk dalam *hopper* tertentu. Pertama, besarnya berat pupuk diperoleh melalui pendugaan gaya berat pupuk yang terdapat pada seluruh ruang *hopper* seperti yang dicantumkan

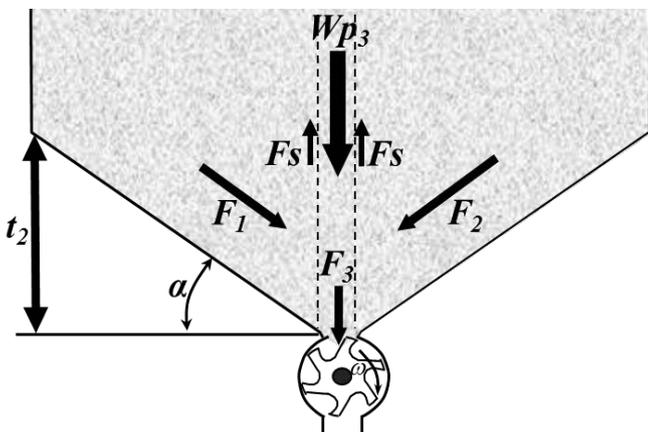


Gambar 12. Hasil validasi model penjataan pupuk urea tipe konvensional; (a) 15 RPM, (b) 35 RPM



Gambar 13. Hasil validasi model penjataan pupuk urea tipe *edge-cell*; (a) 15 RPM, (b) 35 RPM

pada persamaan pendugaan torsi. Melalui hasil pengukuran torsi diperoleh hasil bahwa berat pupuk yang memberi pengaruh signifikan dalam perhitungan torsi pendugaan adalah berat pupuk dalam *hopper* yang akan masuk ruang penjatan (volume pupuk 25% dalam *hopper*). Sehingga, komponen gaya berat pupuk dalam *hopper* yang dihitung cukup pada daerah *hopper* hingga ketinggian  $t_2$  seperti yang diilustrasikan pada Gambar 14 berikut.



Gambar 14. Koreksi perhitungan pendugaan gaya berat pupuk dalam *hopper*

Kedua, diduga terjadi gesekan ( $F_s$ ) antar pupuk sepanjang daerah  $W_{p3}$  yang bekerja terhadap pupuk pada sisi *hopper* ( $F_1$  dan  $F_2$ ) seperti yang disajikan pada Gambar 14 tersebut dan sebelumnya tidak dimasukkan dalam perhitungan. Hal ini menyebabkan pada kondisi riil besar gaya berat pupuk  $W_{p3}$

lebih kecil daripada hasil perhitungan berdasarkan model yang dibangun karena terhambat oleh gaya gesek tersebut. Pada saat volume pupuk dalam *hopper* penuh (100%), gaya gesek yang terjadi antara pupuk di daerah  $W_{p3}$  dengan pupuk pada sisi *hopper* lebih besar daripada saat volume pupuk 25%. Penyebabnya adalah saat *hopper* penuh diisi pupuk, gaya gesek antar pupuk lebih besar karena lebih banyak jumlah pupuk yang bergesekan daripada saat volume pupuk hanya 25% dalam *hopper* (Balevičius dkk., 2008). Kedua pendugaan yang telah dikemukakan di atas juga berlaku pada model yang dibangun untuk penjatan tipe *edge-cell*.

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Kebutuhan torsi pemutar rotor pada alat pemupuk tipe *edge-cell* yang diperoleh dari hasil pengujian lebih rendah daripada tipe konvensional baik pada pengujian untuk pupuk urea (68%) maupun untuk pengujian pada pupuk TSP (80%). Hal ini menunjukkan bahwa penjatan tipe *edge-cell* layak digunakan untuk digunakan untuk penjatan dalam alat pemupuk jagung.

Hasil pengujian validasi model menunjukkan bahwa pada saat volume *hopper* 25%, kebutuhan torsi pengukuran mendekati kebutuhan torsi hasil validasi. Akan tetapi, saat terjadi peningkatan volume *hopper* maka hasil yang diperoleh berbeda cukup jauh. Hasil pengukuran torsi menunjukkan bahwa peningkatan volume pupuk dalam *hopper* tidak berpengaruh terhadap peningkatan kebutuhan torsi.

## Saran

Model penjatah pupuk tipe *edge-cell* direkomendasikan untuk menggantikan tipe penjatah konvensional dalam desain mesin pemupuk jagung. Koreksi pada model terkait belum sesuai hasil pengukuran dengan hasil pendugaan torsi dari model yang dibangun adalah parameter volume pupuk dalam *hopper* yang seharusnya diperhitungkan adalah volume pupuk yang akan masuk ruang penjataan. Selain itu, diduga terdapat gaya geser antar partikel pupuk pada bagian tengah *hopper* sehingga gaya berat pupuk yang masuk ke ruang penjatah tidak sebesar hasil perhitungan

## DAFTAR PUSTAKA

- Bainier, R., Kepner, R.A. dan Barger, E.I. (1961). *Principles of Farm Machinery*. John Wiley and sons, Inc. NewYork.
- Balevičius, R., Kačianauskas, R., Mróz, Z. dan Sielamowicz, I. (2008). Discrete-particle investigation of friction effect in filling and unsteady/steady discharge in three-dimensional wedge-shaped hopper. *Elsevier. Powder Technology* **187**: 159-174.
- Champbell, J.K. (1990). *Dibble Stick, Donkeys, and Machines in Crop Production*. Manila, Philippines: International Rice Research Institute.
- De, D. (1989). Flow behaviour of chemical fertilizers as affected by their properties. *Journal of Agricultural Engineering Research* **42**: 235-249.
- Hofstee, J.W. dan Huisman, W. (1990). Handling and spreading of fertilizer part 1: Physical properties of fertilizer in relation to particle motion. *Journal of Agricultural Engineering Research* **7**: 213-234.
- Putra, P.M. (2011). *Peningkatan Kinerja Unit Penanam dan Pemupuk pada Mesin Penanam dan Pemupuk Jagung Terintegrasi*. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Syafri, E. (2010). *Disain Mesin Penanam Jagung Terintegrasi dengan Penggerak Traktor Roda Dua*. Tesis. Program Pascasarjana. Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Srivastava, A.K., Goering, C.E. dan Rohrbach, R.P. (2006). *Engineering Principle of Agricultural Machine*. USA: American Society of Agriculture Engineering.