

## Technical Paper

## Disain dan Pengujian *Metering Device* untuk Alat Penjatah Pupuk Granular Laju Variabel (*Variable Rate Granular Fertilizer Applicator*)

### *Design and Testing of Metering Device for Variable Rate Granular Fertilizer Applicator*

Abdul Azis S<sup>1</sup>, Radite P.A Setiawan<sup>2</sup> dan I Dewa Made Subrata<sup>3</sup>

#### Abstract

*Uniform rate of fertilizer application (URA) practice is disregarding the productive potential of the various areas within the field. Thus, some area is less fertilized and other is over fertilized. It is also an important issue recently that nitrogen from fertilizers may be subjected to lost into atmosphere or enters streams through surface or subsurface drainage (leaching). The place with over-fertilization will be a potential source of pollution in the form of ammonia (NH<sub>3</sub>), nitrite (NO<sub>2</sub>) and nitrate (NO<sub>3</sub>) which may hazard people health. Variable rate of fertilizer applicator is a solution to overcome the negative impact of URA. It can control the appropriate of fertilizer dosage and location of application in the field. The objective of this research is to design a metering device for variable rate granular fertilizer applicator. The result of variable rate fertilizer testing with single metering device with single rotor indicated that the rate of urea, SP-36 and NPK are 0.84, 0.96 and 1.2 g/rotation respectively. The testing with double rotor indicated that the rate of urea, SP-36 and NPK are 1.14, 2.22 and 2.1 g/rotation respectively. The all of the testing result indicated that metering device which designed can be applied with urea, SP-36 and NPK fertilizer.*

**Keywords:** granular applicator, metering device, PID controller, variable rate

#### Abstrak

Praktik penerapan pupuk laju seragam (URA) umumnya dilakukan tanpa memperhitungkan potensi hasil pada berbagai lokasi lahan. Dengan demikian, sebagian luasan akan mendapatkan pupuk yang kurang sedangkan yang lainnya berlebihan. Selain itu belakangan ini ada isu yang menyatakan bahwa terjadi kehilangan unsur nitrogen dari pupuk akibat penguapan ke atmosfer atau mengalir bersama aliran air drainase permukaan atau bawah permukaan. Tempat yang dosis pupuknya berlebihan akan berpotensi menjadi sumber polusi dalam bentuk ammonia (NH<sub>3</sub>), nitrit (NO<sub>2</sub>) dan nitrat (NO<sub>3</sub>) yang akan mempengaruhi kesehatan manusia. *Aplikator* pupuk laju berubah (*variable*) adalah solusi untuk mengatasi dampak negative dari URA tersebut. Mekanisme ini dapat mengatur dosis dan lokasi pemberian pupuk secara tepat pada lahan. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang *matering device* untuk *aplikator* pupuk butiran laju berubah. Hasil pengujian alat pemberi pupuk laju berubah dengan *matering device* tunggal dan rotor tunggal menunjukkan laju pemberian pupuk urea, SP-36 dan NPK adalah berturut-turut sebesar 0.84, 0.96 dan 1.2 gr/ putaran. Pengujian dengan rotor ganda menunjukkan bahwa laju pemberian pupuk urea, SP-36 dan NPK secara berurutan sebesar 1.14, 2.22, dan 2.1 gr/ putaran. Hasil dari keseluruhan pengujian menunjukkan bahwa *matering device* yang dirancang dapat dipergunakan untuk penerapan pupuk urea, SP-36 dan NPK.

**Kata Kunci:** *Aplikator* butiran, *matering device*, Kontroler PID, dan laju berubah

Diterima: 03 Maret 2011; Disetujui: 05 Juli 2011

#### Pendahuluan

Sistem pertanian di Indonesia masih menerapkan teknologi perlakuan seragam atau URT (*Uniform Rate Technology*). Teknologi ini memberikan perlakuan yang sama terhadap lahan

pertanian tanpa memperhatikan kondisi tanah baik sifat kimia seperti kandungan hara/nutrisi dan pH tanah maupun sifat fisik seperti tekstur dan struktur tanah. Perlakuan budidaya pertanian meliputi pengolahan tanah, penanaman dan pemeliharaan (pemupukan dan pengendalian hama). Teknologi

<sup>1</sup> Alumni S2 Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Sekolah Pascasarjana IPB

<sup>2</sup> Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian IPB.

<sup>3</sup> Staf Pengajar Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian IPB.

Email: dewamadesubrata@yahoo.com

ini banyak digunakan karena murah dan mudah dilakukan bahkan relatif tidak memerlukan aplikasi peralatan tertentu. Perlakuan seragam dalam kegiatan pemupukan meliputi dosis, waktu dan lokasi. Perlakuan dosis pupuk seragam tidak memperhatikan produktivitas lahan. Sehingga menyebabkan respon penerimaan dosis pupuk akan berbeda-beda. Akan terdapat tanaman yang menerima dosis pupuk kurang dari yang dibutuhkan dan terdapat pula tanaman yang akan menerima dosis melebihi dosis yang dibutuhkan.

Pemupukan yang kurang dari dosis yang dibutuhkan tanaman mengakibatkan pemenuhan kebutuhan tanaman akan unsur hara tidak tercapai sehingga pertumbuhan tanaman tidak akan optimal. Perlakuan ini tentunya tidak akan berhasil untuk mencapai tingkat produksi yang optimal. Sedangkan kelebihan dosis akan berdampak buruk bagi lingkungan dan tanaman. Unsur nitrogen dari pupuk sebagian akan terlepas ke atmosfer dan sebagian lagi akan mengalir dipermukaan tanah atau dibawah permukaan tanah sehingga lahan yang overdosis akan berpotensi menjadi sumber polusi dalam bentuk amoniak ( $\text{NH}_3$ ), nitrit ( $\text{NO}_2$ ) dan nitrat ( $\text{NO}_3$ ) yang berbahaya bagi kesehatan manusia (Radite, 2001).

Salah satu teknologi yang dapat diterapkan untuk menggantikan teknologi URT khususnya pada perlakuan pemupukan adalah teknologi perlakuan tidak seragam atau VRT (*Variable-Rate Technology*). VRT dan sistem aplikasi yang terintegrasi memberikan pengertian bahwa aplikasi pemupukan diberikan hanya dalam jumlah atau dosis tertentu berdasarkan lokasi yang membutuhkan. Secara argonomi, sistem *variable-rate* memberikan pengertian bahwa target pemupukan didasarkan atas hasil pengujian tanah dan berhubungan dengan sistem informasi kandungan hara tanah. Secara ekonomi, sistem *variable-rate* berhubungan dengan biaya yang harus dikeluarkan untuk pemupukan pada suatu areal pertanian. Pendekatan lingkungan, sistem *variable-rate* membantu untuk mencegah pemupukan yang berlebihan yang dapat menyebabkan terjadinya masalah lingkungan (Radite, 2001).

Teknologi ini merupakan salah satu bagian dari sistem pertanian presisi (*precision farming*) yang sekarang ini menjadi sistem pertanian yang banyak dikembangkan di negara maju. Tekonolgi VRT akan mampu menghasilkan perlakuan yang tepat berdasarkan kebutuhan tanaman. Perlakuan yang tepat mencakup tiga hal penting, yaitu memberikan aplikasi yang tepat waktu, tepat dosis dan tepat lokasi. Aplikasi tepat waktu memerlukan analisis tanah dan tanaman dalam menentukan jenis dan kadar unsur hara yang terkandung dalam tanaman, serta jenis dan kadar unsur hara yang terkandung dalam tanah yang masih mampu diserap oleh tanaman sehingga kedua data ini dapat menjadi dasar penentuan dosis yang harus diberikan.

Aplikasi tepat lokasi memerlukan teknologi DGPS (*Differential Global Position System*) dan GIS (*Geographic Information Sistem*) yang berfungsi sebagai navigator dalam menentukan posisi mesin saat bekerja di atas lahan dan memetakan lahan berdasarkan hasil uji kandungan hara. Sedangkan tepat dosis memerlukan peralatan VRA (*Variable Rate Applicator*) yang dapat mengontrol dosis penggunaan pupuk dan pestisida. VRA memerlukan komponen yang dapat mengontrol dosis pupuk yang digunakan. Salah satu komponen yang dapat digunakan adalah *metering device*. Oleh karena itu. Penelitian ini penting dilakukan untuk memperoleh sebuah *metering device* yang dapat dikontrol secara elektronik dan dapat diaplikasikan untuk mengontrol dosis pupuk granular.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain sebuah *metering device* yang dapat mengontrol jumlah penjabatan pupuk granular yang dosisnya dapat dikontrol secara elektronik, menguji respon kontrol dari prototipe *metering device* dan menguji kinerja prototipe *metering device* dengan menggunakan 3 jenis pupuk pada berbagai dosis pemupukan.

Harapan dari diadakannya penelitian ini adalah agar *metering device* ini dapat dikembangkan lebih lanjut menjadi *Variable Rate Granular Applicator* setelah dilengkapi peralatan pendeteksi posisi di lahan (DGPS) dan merupakan peralatan yang penting bagi aplikasi pertanian presisi (*Precision Farming*) di Indonesia.

## Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Maret sampai November 2010 bertempat di Laboratorium Teknik Mesin Budidaya Pertanian, Program Studi Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

## Perancangan dan Pemrograman Mikrokontroler

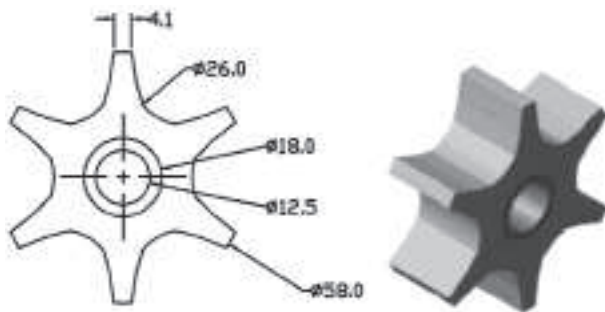
Perancangan dan pemrograman mikrokontroler meliputi pemilihan bahasa pemrograman, penulisan, kompilasi dan proses *download* program ke modul mikrokontroler. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah bahasa C. Pemilihan bahasa C didasarkan oleh beberapa keunggulan yang dimiliki, diantaranya merupakan bahasa yang *powerful*, fleksibel dan *portable* sehingga dapat dijalankan dibeberapa sistem operasi yang berbeda (Joni I. M dan Raharjo. B, 2006). Kode-kode bahasa C ditulis dalam sebuah editor dalam program *notepad*. Program yang dihasilkan pada tahap ini masih berekstensi *.c* dan dinamakan *source code*. Dengan menggunakan *compiler microC-51*, *source code* akan diubah menjadi *object code* dengan ekstensi *.obj*. Hasil kerja *compiler* akan dilanjutkan ke sebuah

linker dan menghasilkan file dengan ekstensi .bin atau .hex. Kedua file ini yang selanjutnya dapat didownloadkan ke modul mikrokontroller.

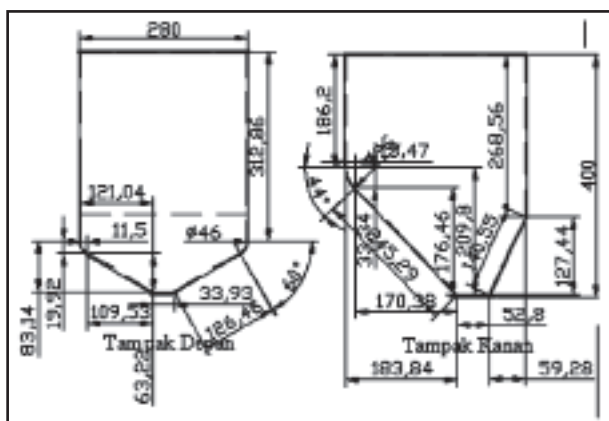
**Disain Metering Device dan Hopper**

Metering device yang dirancang seperti pada Gambar 1 terbuat dari bahan akrilik setebal 5 mm. Panjang metering device 20 cm. Lubang tengah metering device dilapisi dengan besi berongga agar kuat saat dipasang pada rotor. Ukuran diameter luar Metering device 5.8 cm dan diameter alur 2.6 cm. Metering device yang dirancang sebanyak dua buah dengan bentuk dan ukuran yang sama. Kedua metering device tidak dipasang dalam satu garis tetapi bergeser sekitar setengah dari sudut metering, sehingga mempunyai fase tunda sekitar 30°.

Prototipe hopper yang dirancang seperti pada gambar 2. Hopper didisain menggunakan akrilik setebal 5 mm. Akrilik digunakan karena diharapkan hopper yang dihasilkan tahan terhadap karat yang disebabkan oleh pupuk. Volume prototipe hopper yang didesain adalah 30 kg dengan dimensi seperti pada Gambar 2. Agar pupuk dapat meluncur dengan lancar ke metering device saat dioperasikan, maka dasar hopper dimiringkan dengan mempertimbangkan sudut curah pupuk yang berkisar antara 31° sampai 35°. Sudut



Gambar 1. Rancangan metering device



Gambar 2. Rancangan hopper

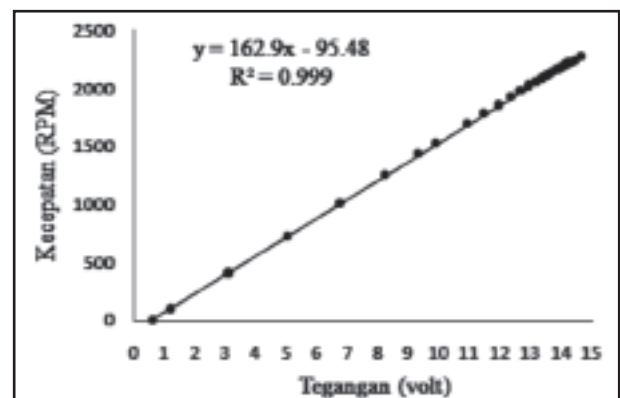
kemiringan dasar hopper harus lebih besar dari sudut curah pupuk tersebut. Dalam rancangan ini, sudut kemiringan dasar hopper adalah sekitar 45°.

**Hasil dan Pembahasan**

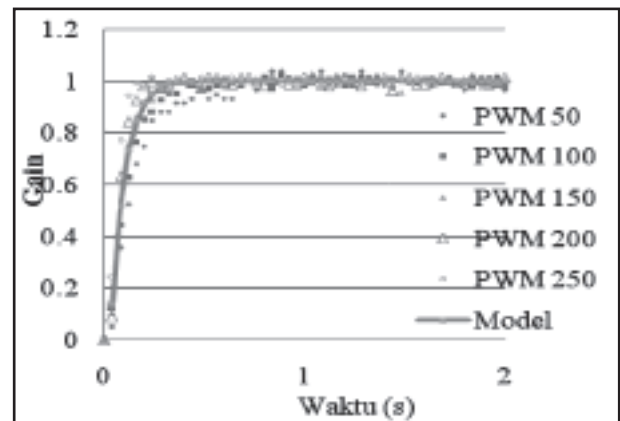
**Kalibrasi Motor DC Servo**

Kalibrasi motor DC servo dilakukan untuk melihat hubungan antara tegangan input motor dengan kecepatan putarnya. Perlakuan yang dilakukan adalah dengan mengatur tegangan input motor berdasarkan nilai PWM. Nilai PWM yang diujikan antara 0 – 255 dengan interval nilai PWM 10. Tegangan input dari power supply sebesar 14.64 volt. Nilai kecepatan putar motor dalam RPM diukur dengan menggunakan tachometer. Tegangan input motor diukur dengan menggunakan AVO meter digital. Hasil pengujian kecepatan putar motor ditunjukkan pada Gambar 3.

Berdasarkan grafik pada Gambar 3, tegangan input berkorelasi linier dengan kecepatan putar dengan nilai R<sup>2</sup> = 0.999 dan persamaan korelasinya y = 162.9x – 95.48. Semakin besar tegangan input yang diberikan, maka semakin besar kecepatan putar motor, namun perubahan tegangan input tidak proporsional dengan perubahan kecepatan putar motor. Hal ini disebabkan oleh hubungan yang tidak



Gambar 3. Grafik hubungan tegangan input motor dengan kecepatan putar motor



Gambar 4. Grafik hasil pengujian loop terbuka

linier antara nilai PWM dengan tegangan input yang dihasilkan.

**Identifikasi Sistem**

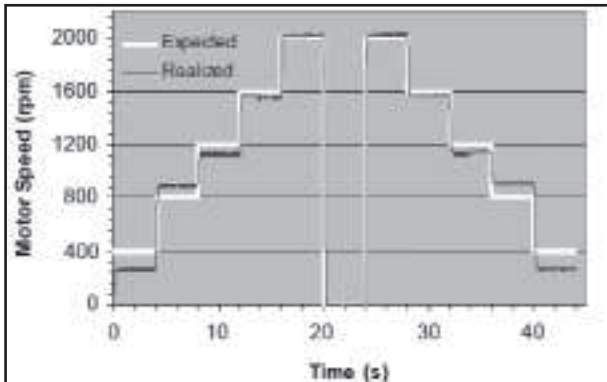
Metode ini berdasarkan pada pengujian sistem dengan loop terbuka Identifikasi sistem dilakukan menggunakan perintah PWM dengan 5 nilai setpoint, yaitu PWM 50, 100, 150, 200 dan 250 dengan periode sampling 60 ms (16.7 Hz). Nilai kecepatan putar motor yang terbaca oleh *speed encoder* direkam secara *real time* menggunakan program *hyperterminal* melalui komunikasi serial RS232 antara *microcontroller* DT-51 *minimum system* dengan komputer. Grafik hasil pengujian setelah diolah ditunjukkan pada Gambar 4. Nilai *gain* (K), *time constant* (T) dan *dead time* (d) yang diperoleh masing-masing 1.82, 0.075 dan 0.03 dengan

model  $g(t) = 1 - e^{-\frac{K}{T}(t-d)}$  untuk  $t > d$  dan  $g(t) = 0$

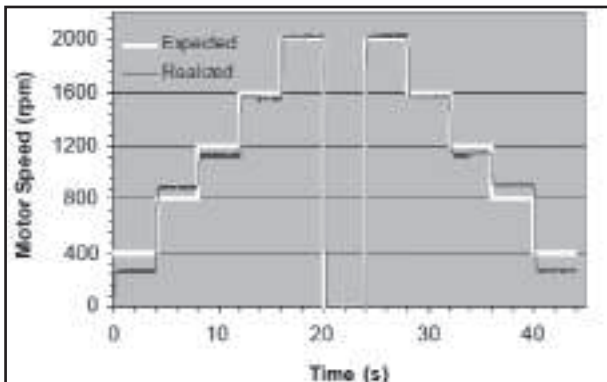
untuk  $t < d$  (radite 2010). Dengan menggunakan persamaan *Ziegler-Nichols* maka diperoleh nilai konstanta P, I dan D masing-masing 1.030, 169 dan 67.647. Nilai PID ini yang menjadi parameter acuan dalam melakukan penalaan atau *tu*

**Pengujian *Stair-Step Response* tanpa Kontrol PID**

Pengujian tanpa kontrol dilakukan dengan



Gambar 5. Grafik hasil pengujian *stair-step response* tan kontrol PID

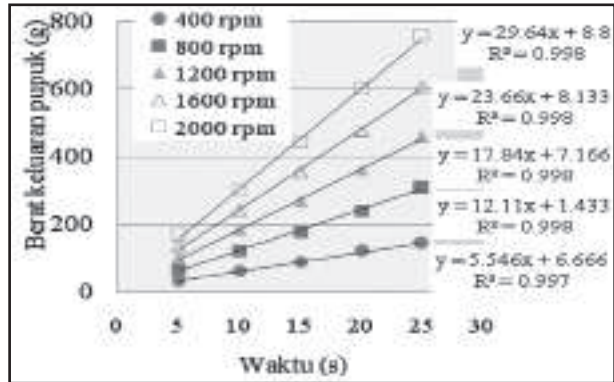


Gambar 6 Grafik hasil pengujian *stair-step response* dengan control PID

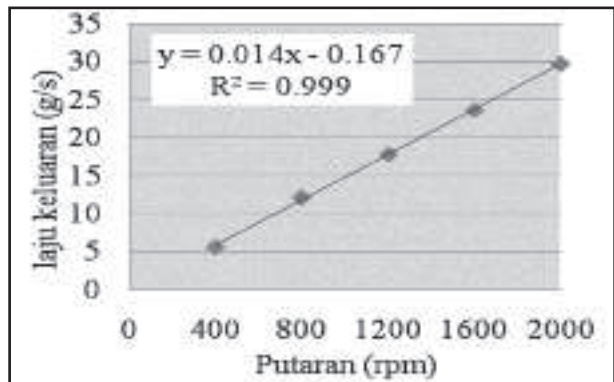
menggunakan kontrol loop terbuka, artinya tidak ada umpan balik keluaran terhadap masukan, sehingga tidak ada koreksi terhadap kesalahan yang terjadi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan periode sampling 60 ms dengan frekuensi sampling 16.7 Hz. Nilai *set-point* yang digunakan masing-masing 400, 800, 1200, 1600, 2000, 0, 2000, 1600, 1200, 800, 400 rpm. Hasil pengujian ditunjukkan seperti pada Gambar 5. Hasil pengujian tanpa kontrol menunjukkan bahwa kecepatan putar rotor tidak bisa mencapai nilai *set-point*.

**Pengujian *Stair-Step Response* dengan Kontrol PID**

Penalaan (*tuning*) digunakan untuk menggambarkan metode-metode yang digunakan serta untuk memilih pengaturan pengontrol terbaik untuk mendapatkan unjuk kerja tertentu (Bolton, W. 2004). Penalaan dilakukan melalui pengujian sistem dengan loop tertutup, periode sampling 60 ms dengan frekuensi sampling 16.7 Hz dan dilakukan dengan menggunakan 11 nilai *set-point* masing-masing 400, 800, 1200, 1600, 2000, 0, 2000, 1600, 1200, 800, 400 rpm, kemudian dilakukan pengujian sistem dengan beberapa kombinasi nilai P, I dan D, tiap kombinasi PID dilakukan pengulangan sebanyak tiga kali. Kecepatan putar motor ditampilkan pada program *hyperterminal* melalui komunikasi serial RS232 antara mikrokontroler



Gambar 7. Grafik hubungan waktu dengan keluaran pupuk urea



Gambar 8. Grafik hubungan putaran motor laju aliran pupuk urea

DT-51 *minimum system* dengan komputer. Nilai konstanta PID yang digunakan untuk pengontrolan sistem adalah yang menghasilkan keluaran paling mendekati nilai *set-poin*. Dari beberapa kombinasi nilai PID yang diujikan, diperoleh nilai PID yang memberikan pengontrolan terbaik masing-masing 500, 15000 dan 20000. Grafik hasil pengujian *stair-step response* dengan kontrol PID ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil pengujian dengan kontrol PID memberikan respon yang cukup baik, dimana kecepatan putaran rotor mendekati nilai *set-point* yang dikehendaki.

**Pengujian dengan Pupuk Granular**

Pengujian dengan menggunakan pupuk granular menggunakan tiga jenis pupuk, yaitu urea, SP-36 dan NPK. Ketiga jenis pupuk ini memiliki nilai *bulk density* masing-masing sebesar 0.635 g/cm<sup>3</sup>, 1.009 g/cm<sup>3</sup> dan 0.908 g/cm<sup>3</sup>. Distribusi keseragaman ukuran berbeda-beda dimana urea memiliki distribusi ukuran paling seragam sebesar 75.7% dengan ukuran 1.4 – 2.36 mm, sedangkan pupuk SP-36 dan NPK memiliki distribusi ukuran masing-masing 55.27% dan 57.40% dengan ukuran masing-masing 2.36 – 4.6 mm dan 1.4 – 2.36 mm.

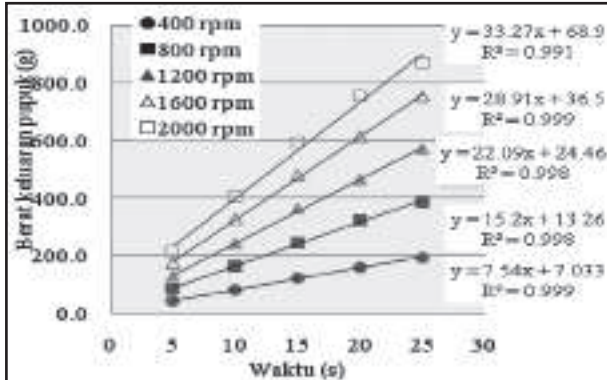
**Pengujian Metering Device dengan Satu rotor (Single Rotor)**

Pengujian dengan satu *metering device* dengan

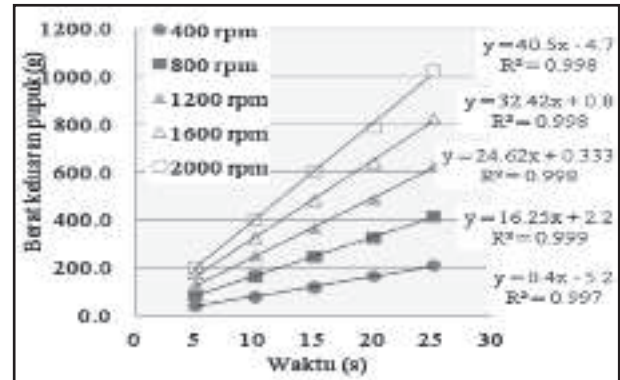
menggunakan pupuk urea ditunjukkan pada Gambar 7. Grafik hubungan antara waktu dengan berat pupuk urea yang keluar dari *metering device* menunjukkan hubungan yang linier untuk masing-masing nilai *set-point*. Dimana pada *set-point* 400, 800, 1200, 1600 dan 2000 rpm diperoleh nilai R<sup>2</sup> masing-masing sebesar 0.997, 0.998, 0.998, 0.998 dan 0.998. Sedangkan laju aliran pupuk urea dari *metering device* untuk masing-masing nilai *set-point* berturut-turut sebesar 5.546, 12.11, 17.84, 23.66 dan 29.64 g/s. Perubahan nilai *set-point* proporsional terhadap perubahan laju aliran pupuk urea yang keluar dari *metering device*.

Grafik hubungan antara putaran motor dengan laju aliran pupuk urea dari *metering device* (gambar 8) menunjukkan bahwa putaran motor berkorelasi linier dengan laju aliran pupuk dengan nilai R<sup>2</sup> = 0.999 dengan persamaan korelasi  $y = 0.014x - 0.167$ . Hal ini menunjukkan bahwa pupuk keluar dari *metering device* dengan laju aliran 0.014 g/s untuk satu satuan putaran motor.

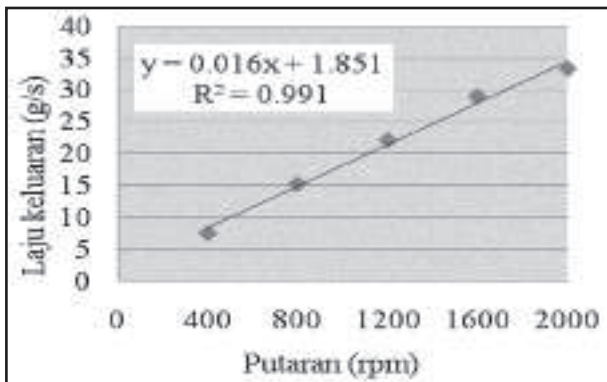
Hasil pengujian sistem dengan pupuk SP-36 ditunjukkan pada Gambar 9. Grafik hubungan antara waktu dengan berat pupuk SP-36 yang keluar dari *metering device* menunjukkan bahwa berat pupuk yang keluar dari *metering device* berkorelasi linier dengan waktu untuk semua nilai *set-point* yang digunakan. Dimana pada *set-point* 400, 800, 1200, 1600 dan 2000 rpm menghasilkan nilai R<sup>2</sup> masing-



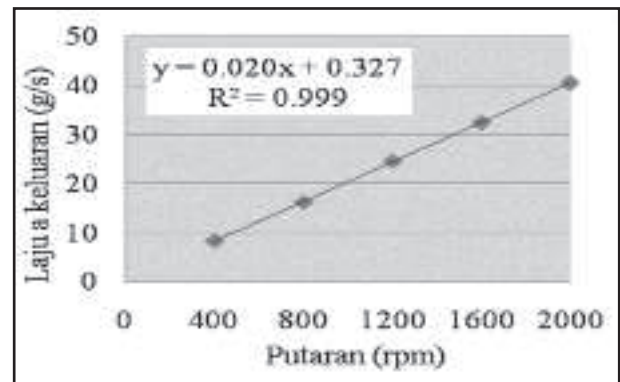
Gambar 9. Grafik hubungan waktu dengan keluaran pupuk SP-36



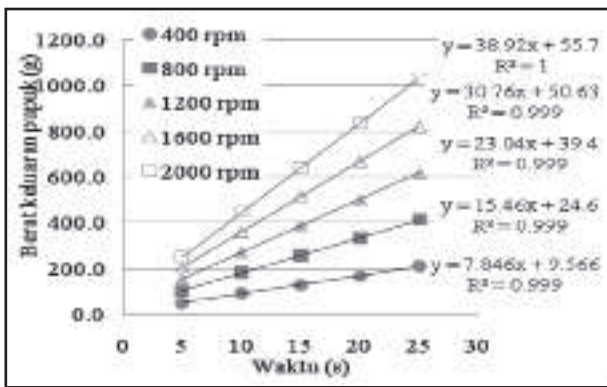
Gambar 11. Grafik hubungan waktu dengan keluaran pupuk NPK



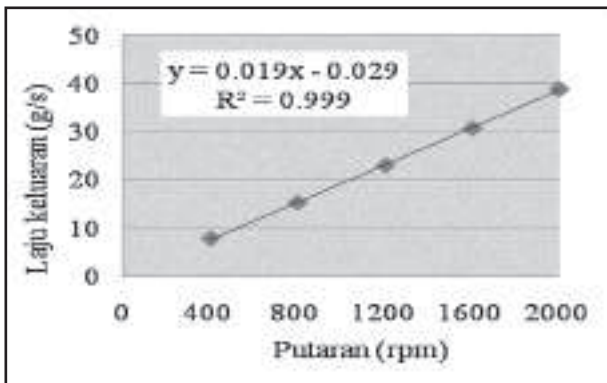
Gambar 10. Grafik hubungan putaran motor dengan laju aliran pupuk SP-36



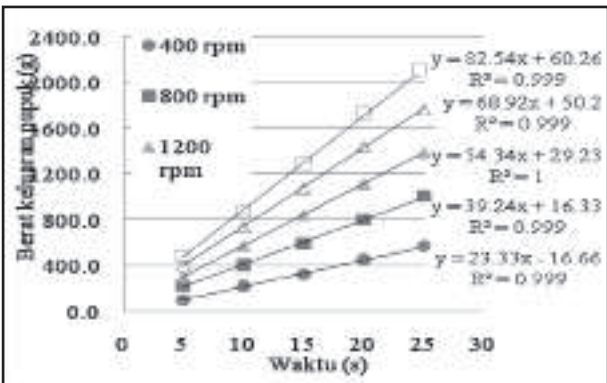
Gambar 12. Grafik hubungan putaran motor dengan laju aliran pupuk NPK



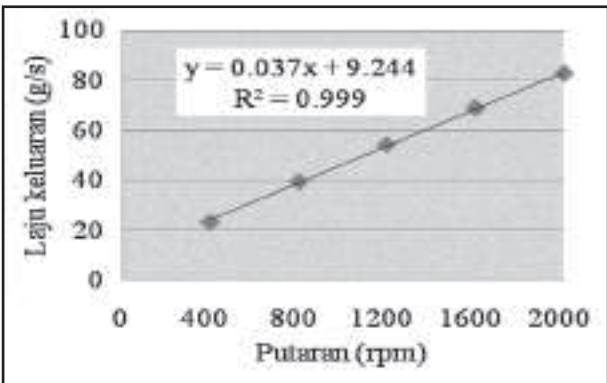
Gambar 13. Grafik hubungan waktu dengan keluaran pupuk urea



Gambar 14. Grafik hubungan putaran motor dengan laju aliran pupuk urea



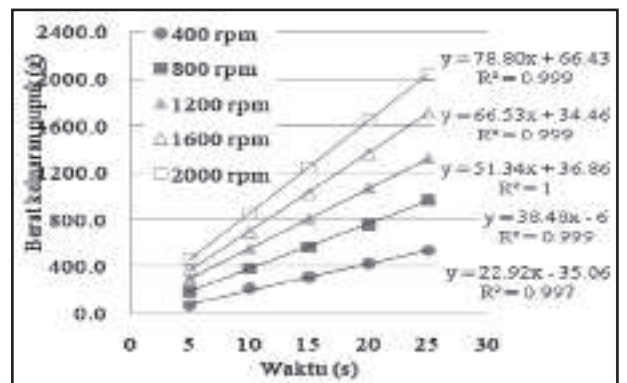
Gambar 15. Grafik hubungan waktu dengan keluaran pupuk SP-36



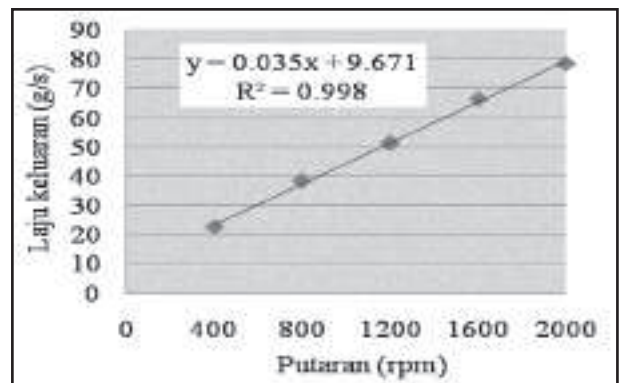
Gambar 16. Grafik hubungan putaran motor dengan laju aliran pupuk SP-36

masing 0.999, 0.998, 0.998, 0.999 dan 0.991. Sedangkan laju aliran pupuk dari *metering device* untuk masing-masing nilai *set-point* berturut-turut sebesar 7.54, 15.2, 22.09, 28.91 dan 33.27 g/s. Perubahan nilai *set-point* proporsional terhadap perubahan laju aliran pupuk SP-36 yang keluar dari *metering device*. Grafik hubungan antara putaran motor dengan laju aliran pupuk SP-36 (gambar 9) berkorelasi linier dengan nilai R<sup>2</sup> = 0.991 dengan persamaan korelasi  $y = 0.016x + 1.851$ . Hal ini menunjukkan bahwa laju aliran pupuk SP-36 yang keluar dari *metering device* sebesar 0.016 g/s untuk tiap satu satuan putaran motor.

Hasil pengujian dengan menggunakan pupuk NPK ditunjukkan pada Gambar 11. Grafik hubungan waktu dengan berat pupuk NPK yang keluar dari *metering device* berkorelasi linier untuk semua nilai *set-point* dengan nilai R<sup>2</sup> berturut-turut sebesar 0.997, 0.999, 0.998, 0.998 dan 0.998. sedangkan laju aliran pupuk NPK untuk masing-masing nilai *set-point* berturut-turut sebesar 8.4, 16.25, 24.62, 32.42 dan 40.5 g/s. Kenaikan nilai *set-point* proporsional terhadap kenaikan berat pupuk NPK yang keluar dari *metering device*. Demikian pula putaran motor berkorelasi linier dengan laju aliran pupuk dengan nilai R<sup>2</sup> = 0.999 dengan persamaan korelasi  $y = 0.020x + 0.327$ .



Gambar 17. Grafik hubungan waktu dengan keluaran pupuk NPK (kiri)



Gambar 18. Grafik hubungan putaran motor dengan laju aliran pupuk NPK

### Pengujian Metering Device dengan Dua Rotor (Double Rotor)

Hasil pengujian dengan menggunakan dua *metering device* untuk pupuk urea ditunjukkan pada gambar 13 dan 14. Grafik hubungan antara waktu dengan berat pupuk urea yang keluar dari *metering device* berkorelasi linier. Untuk nilai *set-point* 400, 800, 1200, 1600 dan 2000 rpm dengan pupuk urea memberikan memberikan nilai  $R^2$  berturut-turut sebesar 0.999, 0.999, 0.999, 0.999 dan 1. Laju keluaran pupuk urea berturut-turut sebesar 7.846, 15.46, 23.04, 30.76 dan 39.92 g/s. Grafik hubungan antara putaran motor dengan laju aliran pupuk menunjukkan korelasi linier dengan nilai  $R^2 = 0.999$  dan persamaan korelasinya  $y = 0.019x - 0.029$ .

Grafik pengujian dengan pupuk SP-36 (gambar 15) menunjukkan korelasi linier antara waktu dengan berat pupuk SP-36 yang keluar dari *metering device* untuk masing-masing nilai *set-point*. Nilai  $R^2$  yang diperoleh masing-masing sebesar 0.999, 0.999, 1, 0.999 dan 0.999. Laju aliran pupuk masing-masing sebesar 23.33, 39.24, 54.34, 68.92 dan 82.54 g/s. Grafik hubungan antara putaran motor dengan laju aliran pupuk SP-36 (Gambar 16) menunjukkan korelasi linier dengan  $R^2 = 0.999$  dengan persamaan korelasi  $y = 0.037x + 9.244$ .

Grafik pengujian dengan pupuk NPK (Gambar 17) menunjukkan korelasi linier antara waktu dengan berat pupuk yang keluar dari *metering device* untuk masing-masing nilai *set-point*, dimana nilai  $R^2$  yang diperoleh masing-masing sebesar 0.997, 0.999, 1, 0.999 dan 0.999. Laju aliran pupuk NPK masing-masing sebesar 22.92, 38.48, 51.34, 66.53 dan 78.80 g/s. Grafik hubungan antara putaran motor dengan laju aliran pupuk NPK (Gambar 18) menunjukkan korelasi linier dengan  $R^2 = 0.998$  dengan persamaan korelasi  $y = 0.035x + 9.671$ .

Berdasarkan pengujian dengan satu *metering device* dan dua *metering device* menunjukkan bahwa terjadi kenaikan laju aliran pupuk urea sebesar 1.4 g/s, pupuk SP-36 sebesar 2.3 g/s dan pupuk NPK sebesar 1.8 g/s. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan laju aliran pupuk urea berbeda dari yang diharapkan, dimana dengan menggunakan dua *metering device* diharapkan terjadi kenaikan laju aliran pupuk sebesar dua kali laju aliran dengan satu *metering device*. Hal ini disebabkan kadar air pupuk urea tinggi yang menyebabkan mudah lengket di permukaan alur *metering device* sehingga dapat mengurangi volume pupuk yang keluar. Selain itu, pengujian dilakukan dengan selang waktu satu hari dengan pupuk urea yang sama. Hal ini

memungkinkan terjadinya perbedaan kondisi pupuk urea yang digunakan pada pengujian satu *metering device* dengan dua *metering device*, terutama kadar air pupuk akibat dari sifat higroskopis pupuk urea. Sedangkan kenaikan laju aliran pupuk SP-36 dan NPK sudah mendekati kenaikan yang diharapkan.

### Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Prototipe sistem *Metering device* dapat mengontrol keluaran pupuk urea, SP-36 dan NPK secara presisi dengan variasi kecepatan motor antara 400 sampai 2000 rpm.
2. Perubahan kecepatan putaran rotor proporsional dengan perubahan laju aliran pupuk urea, SP-36 dan NPK. Dengan demikian dosis pupuk dapat dikontrol melalui pengontrolan putaran rotor.
3. Pengujian *metering device* dengan satu rotor memberikan laju aliran pupuk urea, SP-36 dan NPK untuk *set-point* 400, 800, 1200, 1600 dan 2000 rpm berturut-turut sebesar 5.546, 12.11, 17.84, 23.66 dan 29.64 g/s; 7.54, 15.2, 22.09, 28.91 dan 33.27 g/s; 8.4, 16.25, 24.62, 32.42 dan 40.5 g/s
4. Pengujian *metering device* dengan dua rotor memberikan laju aliran pupuk, SP-36 dan NPK untuk *set-point* 400, 800, 1200, 1600 dan 2000 rpm berturut-turut sebesar 7.846, 15.46, 23.04, 30.76 dan 39.92 g/s; 23.33, 39.24, 54.34, 68.92 dan 82.54 g/s; 22.92, 38.48, 51.34, 66.53 dan 78.80 g/s

### Daftar Pustaka

- Radite, P.A.S, W. Hermawan, B. Budiyanto, dan Abdul Azis. 2010. Development of Variable Rate Fertilizer Applicator Module Based on 8-bit Embedded System AFITA 2010 Int'l Conf., "The Quality Information for Competitive Agricultural Based Production System and Commerce, IICC Bogor, Oct 4-6, page 93-98.
- Joni I. M dan Budi Raharjo. 2006. *Pemrograman C dan Implementasinya*. Bandung: Penerbit Informatika.
- Radite. 2001. *Development of Variable Rate Granular Applicator for Paddy Field*. Research report on Precision Agriculture Research Project. BRAIN-Kyoto University, Japan.