

MESIN PEMUPUK PREKISI LAJU VARIABEL BERBASIS MIKROKONTROLER

Radite P.A.S¹, M. Tahir¹, W. Hermawan¹ dan B. Budiyanto²

1 Dep. Teknik Mesin dan Biosistem, FATETA, IPB. email: iwan_radit@yahoo.com

2 Prodi S2 Teknik Mesin Pertanian dan Pangan, Dep. TMB, FATETA, IPB.

3 Departement Geofisika dan Meteorologi, FMIPA, IPB.

ABSTRACT

Variable rate fertilizer application system is one of the key technologies in intelligent machines that are required in the implementation of precision agriculture or precision farming. The mentioned machines should be accurate, flexible in operation and could be able to change dose quickly. Conventional fertilizer applicator that uses the tractor's PTO was not suitable for this purpose because it serve single dose uniform rate only. It was not flexible in changing the dose, and also had disadvantage where the rate of fertilizer output is influence by the speed tractor. In this research an electronic metering device for variable rate fertilizer application was developed. The metering system base on star type rotor which was directly rotated by the DC motor. The speed of the motors was controlled digitally-based 8-bit AVR microcontroller module 128. The system developed was able to precisely metered the fertilizer dan change dosage appropriately and quickly, it also allows the recording of data during the process of application. In field application, its position in the field is monitored using DGPS. Test results showed that the metered fertilizer has a linear relationship to rotation of the rotor and consistent along with time. The output also proportional to single rotor or double rotor operation. Operating with a single rotor with urea fertilizer gave calibration value 0.794 g / s / rps with coefficient of determination more than 0.999, while operating with double rotor gave calibration value of 1.513 g / s / rps with coefficient determination of more than 0.999. The development of this prototype is expected to support national technology capabilities upon the adoption of precision farming practice in the future.

Keywords: Precision farming, variable metering device, Electronic metering

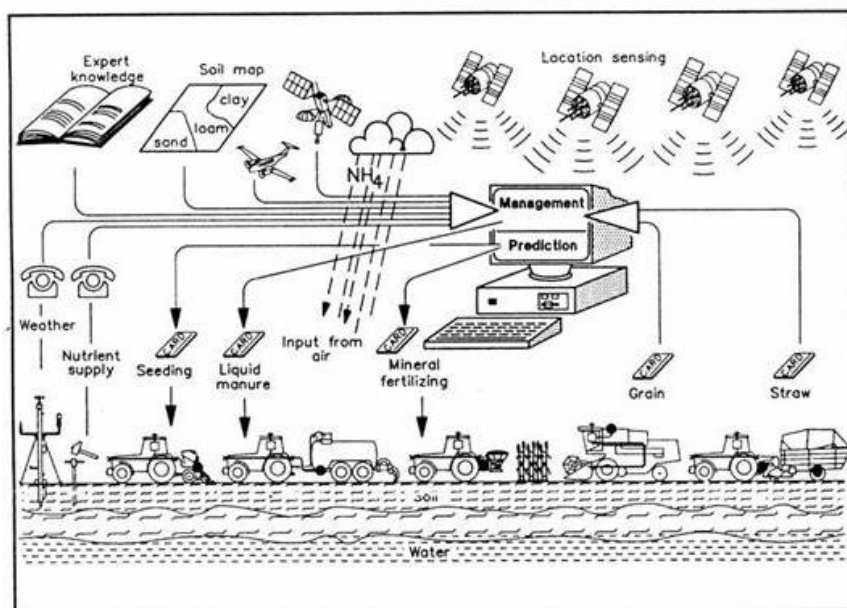
ABSTRAK

Sistem penjatah pupuk laju variable (variable rate fertilizer metering system) merupakan salah satu teknologi kunci pada mesin-mesin pintar yang digunakan dalam implementasi pertanian presisi (precision farming). Pada mesin pemupuk yang mempunyai penjataan laju variabel, akurasi pemberian dosis dan fleksibilitas dalam pemberian dosis yang berubah secara cepat sangatlah diperlukan. Mesin pemupuk konvensional yang menggunakan sumber penggerak dari PTO traktor seperti yang masih umum digunakan adalah untuk pemupukan laju tetap (uniform rate fertilizer application) sehingga tidak fleksibel untuk perubahan dosis, juga mempunyai kelemahan dimana laju keluaran pupuknya dipengaruhi oleh kecepatan enjin traktor. Pada penelitian ini bagian penjatah pupuk diputar langsung oleh motor DC yang kecepatannya dapat dikontrol secara digital berbasis modul mikrokontroler 8 bit AVR 128. Rotor yang digunakan adalah tipe bintang dengan 6 sirip. Sistem yang dikembangkan ini dapat mengatur perubahan dosis secara tepat dan cepat, juga memungkinkan perekaman data pemupukan dan posisi-nya di lapangan menggunakan DGPS. Pada prototip mesin ini jumlah pupuk dapat diberikan secara akurat dan beragam dosisnya secara spasial sesuai dengan kebutuhan tanaman dalam blok, juga tepat posisi penempatannya di dalam lahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pupuk dapat dijatah secara presisi, mempunyai hubungan linier terhadap putaran rotor dan proporsional baik pad pengoperasian rotor tunggal maupun rotor ganda. Pengoperasian dengan rotor tunggal dengan pupuk urea memberikan nilai kalibrasi dosis 0.794 dengan koefisien determinasi lebih dari 0.999, sedangkan pengoperasian dengan rotor ganda nilai kalibrasi dosisnya adalah 1.513 g/s/rps dengan koefisien determinasi lebih dari 0.999. Kedepan, pengembangan prototip ini diharapkan mendukung kemampuan teknologi lokal-nasional pada penerapan *precision farming* dimasa depan.

Kata Kunci: Pertanian presisi, penjatah laju variabel, Electronic metering

PENDAHULUAN

Berbeda dengan konsep pertanian konvensional yang menggunakan pendekatan perlakuan seragam, pada pertanian presisi keberagaman dalam petakan lahan justru mendapat perhatian dan dikelola agar didapatkan hasil optimal. Secara alami kondisi lahan untuk tumbuh tanaman sebenarnya tidaklah seragam, disebabkan antara lain oleh topografi lahan, ketebalan lapisan top soil, tekstur tanah, kesuburan tanah, kelembaban tanah, dan sebagainya. Demikian juga setelah benih disemai, pertumbuhan dan perkembangannya juga secara alami tidak seragam karena pengaruh iklim lokal, sebaran air irigasi, gulma, hama dan penyakit, dan sebagainya. Dengan demikian, perlakuan seragam secara teknis menyebabkan terjadinya *over-application* pada “lingkungan yang subur” dan *under-application* pada “lingkungan yang miskin” di petak lahan. Perlakuan ini jika berlangsung secara intens dan dalam waktu lama, tidak diragukan lagi dapat menurunkan produktivitas lahan karena degradasi mutu lingkungan.



Gambar 1. Konsepsi sistem pengelolaan pertanian presisi (Auernhammer, 1998)

Pengelolaan data keragaman spasial lebih lanjut dilakukan dengan SIG yang merupakan kumpulan dari perangkat keras komputer, perangkat lunak, data geografi, dan personil, yang terorganisir yang didisain untuk memperoleh, menyimpan, memperbaiki, memanipulasi, menganalisa, dan menampilkan semua bentuk informasi yang bereferensi geografi. SIG dapat menggabungkan data-data, manajemen kemudian melakukan analisis sehingga akhirnya menghasilkan keluaran yang dapat dijadikan acuan dalam pengambilan kebijaksanaan atau keputusan dari kasus yang dihadapi. Karena itu, sistem pengelolaan data otomatis memainkan peranan penting dalam membuat proses ini efisien seperti ditunjukkan dalam Gambar 1. Implementasi pertanian presisi membutuhkan suatu sistem yang handal untuk dapat memperoleh data-data lapangan yang diperlukan secara cepat dan efisien. Operasi lapangan pertanian presisi membutuhkan “*smart machine*” yang dapat melaksanakan operasi penanaman, pemupukan, penyemprotan hama, dan sebagainya secara presisi tepat dosis dan tepat lokasi aplikasi (Radite, 2001).

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan mesin pemupuk laju variabel yang dapat dosisnya dapat dikontrol secara elektronik pada posisi geografis yang diinginkan berdasarkan sistem posisi global menggunakan *real time kinematic differential global positioning system*. Pada prakteknya aplikasi laju variabel dapat dilakukan berdasar pada peta kerja ataupun secara *real time* menggunakan sensor sebagai umpan balik tergantung pada pilihan teknologi yang tersedia di lapangan. Pada penelitian ini konsep aplikasi di lapangan akan menggunakan peta kerja. Perubahan dosis aplikasi di lapangan akan dipenuhi dengan sistem *metering device* variabel yang dikembangkan dalam penelitian ini, sedangkan referensi posisi mesin pemupuk di lapangan akan dipantau menggunakan sistem posisi global menggunakan RTK DGPS (*real time kinematic differential global positioning system*).

METODOLOGI

Waktu dan Tempat Penelitian

Desain, pembuatan, perakitan dan pengujian laboratorium prototip mesin pemupuk laju variable yang dikembangkan pada penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekatronik dan Robotik Bagian Teknik Mesin dan Pertanian, Departemen Teknik mesin dan Biosistem, IPB. Penelitian ini dilaksanakan antara bulan Juli – November 2011.

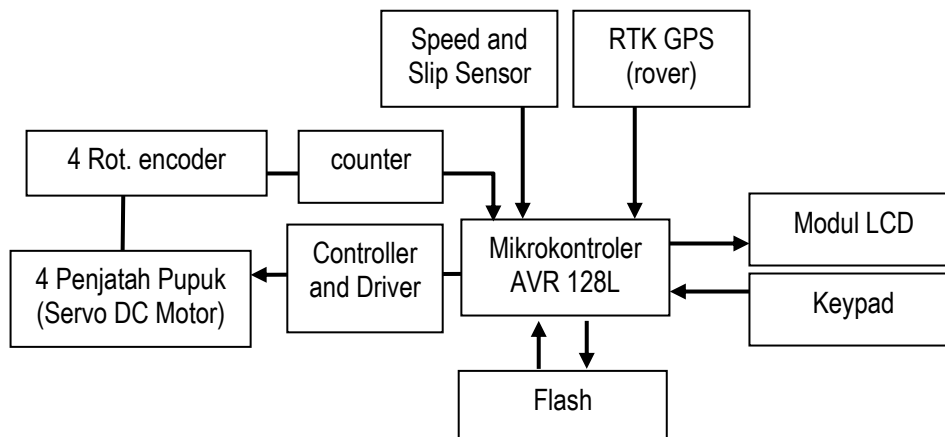
Bahan dan Alat

Bahan penelitian dapat dibedakan antara bahan konstruksi alat, modul kontrol dan *software*. Sedangkan peralatan dibedakan menjadi peralatan konstruksi untuk pembuatan prototip dan peralatan untuk keperluan pengujian. Bahan konstruksi untuk pembuat hopper dan metering device, terdiri antara lain plat akrilik, besi konstruksi, lem, baut-mur, motor listrik DC, soket, kabel dan sebagainya. Modul kontrol terdiri atas Sistem Minimum AVR ATmega128, SPC *motor controller*, 4 buah EMS 30A *H-Bridge*, 4 *incremental encoder*, EMS *memory data flash*, konektor RS232, dan rangkaian elektronika pendukung, seperti sakelar, *relai*, pengamanan beban lebih, dsb.. Disamping OS komputer, *software* yang digunakan dalam penelitian ini antara lain *in system programmer downloader*, bahasa C Code-vision dan Microsoft C#.

Adapun peralatan bengkel yang digunakan meliputi alat-alat bengkel konstruksi seperti bor, las, bubut, gergaji, dsb untuk pembuatan komponen mekanik dari prototip. Sedangkan untuk pengujian penjataan pupuk digunakan peralatan antara lain timbangan digital 3 kg ketelitian 1 gram, USB to RS232, dan wadah. Untuk keperluan *download* dan *upload* program ke dan dari mikrokontroler digunakan komputer Laptop, kabel USB to RS232, dan kabel USB to ISP downloader.

Sistem penjajah laju variabel

Seperti ditunjukkan pada Gambar Sistem penjajah pupuk laju variabel (*variable rate fertilizer metering system*) terdiri dari 4 bagian utama, yaitu 1) sistem kendali pusat, 2) sistem pengaturan penjajah pupuk, 3) sistem pendeteksi posisi, dan 4) sistem penyimpanan data hasil percobaan. Sistem kendali pusat menggunakan mikrokontroler sistem minimum AVR Atmega 128L. Sistem pengaturan penjajah pupuk terdiri dari komponen mekanis dan komponen elektronik. Komponen mekanis berupa hopper, rotor penjajah pupuk, motor listrik dan gearbox pengatur ratio transmisi. Sedangkan komponen elektronik terdiri atas SPC motor controller, EMS H-bridge driver dan incremental rotary encoder sebagai umpan balik kontrol kecepatan motor.



Gambar 2. Sistem penjajah pupuk laju variable

Sistem pendeteksi posisi akan menggunakan RTK DGPS untuk keperluan pertanian. Sistem posisi global ini sangat akurat dan dapat memberikan ketelitian pemosisian di lapangan antara 5-10 cm. Data RTK DGPS berupa posisi geodetik di bumi berbentuk derajat bujur dan derajat lintang dalam format NMEA akan diubah menjadi data proyeksi UTM (Easting dan Northing) dalam satuan m sehingga menunjuk posisi nyata di lapangan.

Sistem kendali pusat juga dilengkapi dengan model penampil (LCD) 2x16 karakter dan modul input data dalam bentuk keypad 4x4 berfungsi sebagai *user interface* sehingga meningkatkan fleksibilitas pengendalian dan memudahkan interpretasi hasil selama proses pengendalian berlangsung.

Teknik kendali digital

Pada penelitian ini metoda penjataan pupuk secara presisi oleh penjatah pupuk elektrok dikontrol dengan mengontrol putaran rotor penjatah. Pengontrolan putaran rotor penjatah ini dilakukan dengan menggunakan metoda kontrol umpan balik secara digital (*digital feedback control*) menggunakan algoritma PID.

Dalam hal ini, eror didefinisikan sebagai perbedaan antara set poin ($SP(t)$) dengan nilai yang diukur ($PV(t)$). Eror dinyatakan sebagai $e(t) = SP(t) - PV(t)$. Dengan menggunakan *error* sebagai umpan balik, maka suatu proses kontrol dapat dengan cepat bereaksi menuju nilai set poin yang diinginkan. Algoritma PID (*proportional, differential and Integral*) adalah salah satu algoritma kontrol yang digunakan pada loop tertutup (*closed loop*) pada berbagai aplikasi, dan merupakan dasar dari algoritma kontrol modern.

Secara teori output dari kontroler $C(t)$ analog dapat ditulis sebagai:

$$C(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_D \frac{de(t)}{dt} + C_0 \quad [1]$$

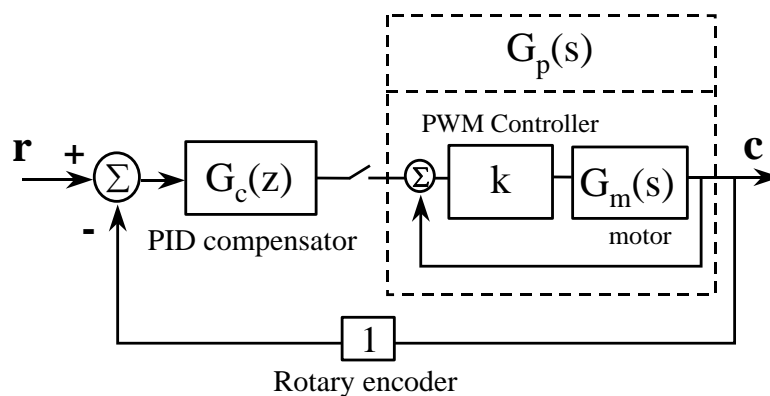
Persamaan ini umum dikenal sebagai PID untuk kontrol posisi, karena sinyal kontrol dihitung dengan referensi nilai dari C_0 . Jika variabel prosesnya berfluktuasi dengan cepat seperti yang terjadi pada *metering device* suatu pupuk granular, maka persamaan ini kurang praktis karena derivasi dari error ($de(t)/dt$) akan berubah dengan cepat dan memperburuk kinerja kontrol. Pendekatan yang lebih praktis adalah

$$C(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt - K_D \frac{dPV(t)}{dt} + C_0 \quad [2]$$

Pada persamaan ini, K_p konstanta tuning proporsional, K_i adalah konstanta tuning integrasi, dan K_D adalah konstanta tuning derivasi. Jika error sekarang besar atau error sekarang tetap selama beberapa waktu atau error berubah dengan cepat, maka kontroler akan menyesuaikan dengan cepat dengan memberikan koreksi yang besar yaitu dengan membuat nilai output $C(t)$ menjadi besar. Sebaliknya jika variable proses telah sesuai dengan set poin untuk beberapa waktu, maka kontroler akan memberikan respon yang kecil atau diam. Jika T adalah interval sampling, maka PID diskret atau PID digital dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C(t) = C(t-1) + K_p [e(t) - e(t-1)] + K_i T e(t) - K_D \left[\frac{PV(t) - 2PV(t-1) + PV(t-2)}{T} \right] \quad [3]$$

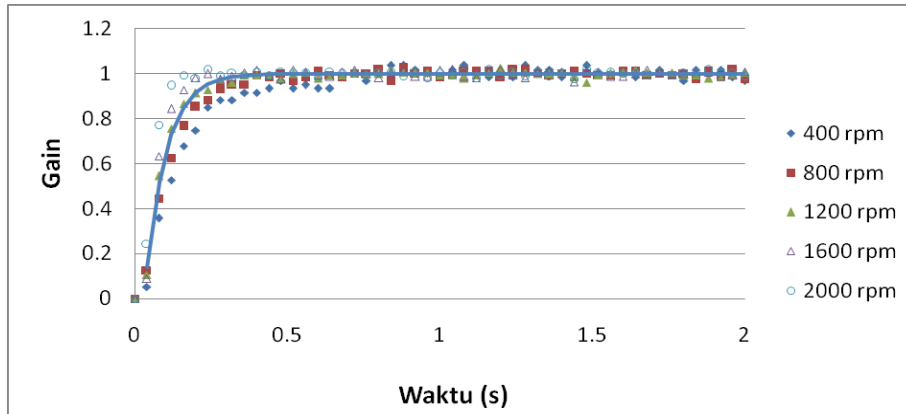
Untuk pengendalian motor dengan algoritma PID digital, persamaan [3] dapat digambarkan secara skematik seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram skematik kontrol motor secara digital

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengendalian rotor pemupuk



Gambar 4. Fitting nilai konstanta K, T dan d pada unit step *open loop response*

Penjatah pupuk (*metering device*) digerakkan oleh motor listrik DC. Putaran maksimum motor listrik pada 22 V adalah sekitar 50 rps. Kecepatan motor di monitor menggunakan *incremental rotary encoder* 200 pulsa per putaran.

Rotor metering device dikendalikan dengan menggunakan algoritma kontrol PID. Koefisien tuning PID didapatkan dari percobaan step respon yang hasilnya dipergunakan untuk menghitung koefisien K (konstanta gain proporsional), T (konstanta waktu atau *time constant*) dan d (waktu tunda atau *time delay*) dari sistem metering device.

Kemudian nilai konstanta K, T dan d dipergunakan untuk penentuan koefisien K_p , K_i dan K_d dilakukan dengan menggunakan Metoda Internal Control (MIC), karena dalam pengujian lebih baik dibandingkan menggunakan metoda Ziegler-Nichols (Radite, 2010). Penentuan K_p , K_i dan K_d pada metoda MIC adalah sebagai berikut:

$$C(t) = C(t-1) + K_p \left\{ [e(t) - e(t-1)] + \frac{1}{T_i} e(t) - T_d \left[\frac{PV(t) - 2PV(t-1) + PV(t-2)}{T} \right] \right\} \quad [4]$$

$$K_p = \frac{1}{K} \left[\frac{T + 0.5d}{T_c + 0.5d} \right] \quad [5]$$

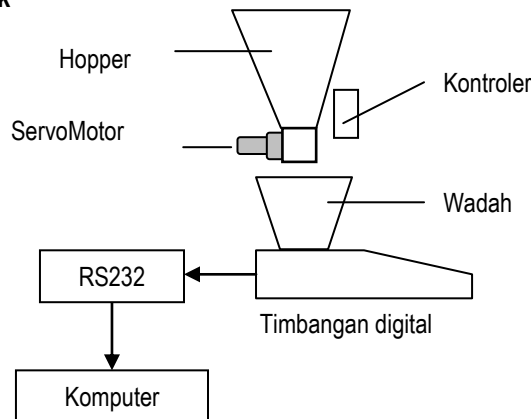
$$T_i = T + 0.5d \quad [6]$$

$$T_d = \frac{T \cdot d}{2T + d} \quad [7]$$

Dimana,

- $PV(t)$: nilai encoder pada saat itu [rpm]
- $e(t)$: error encoder, selisih antara setpoint dan pembacaan encoder
- K : konstanta, perbandingan antara kecepatan motor terukur [rpm] dan perintah pengendalian motor [PWM]
- T : waktu konstan atau *time constant* [s]
- d : delay atau *dead time* [s]
- T_c : waktu kontrol [s]

Pengujian penjajah pupuk

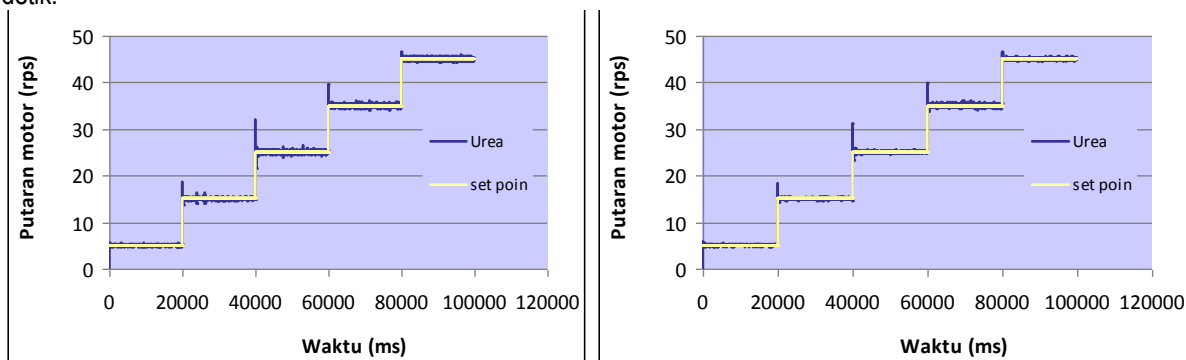


Gambar 5. Diagram akuisisi data pada pengujian kinerja di Laboratorium

Pupuk yang dipergunakan pada pengujian ini adalah Urea. Dari analisis berat setelah pupuk dilewatkan suatu pengayak, diketahui bahwa distribusi ukuran partikel > 2.36 mm adalah 5.1%, ukuran partikel antara 1.4 sampai dengan 2.36 mm adalah 65.5%, sedangkan ukuran partikel < 1.4mm adalah 29.4%.

Pengujian kecepatan motor dilakukan 5 tingkat yaitu 5, 15, 25, 35 dan 45 rps masing-masing dalam perioda waktu 20 detik, dan masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali ulangan. Rekaman kecepatan motor pada saat metering menjajah pupuk urea bahwa putaran dari rotor penjajah pupuk dapat dikontrol dengan presisi.

Pengujian kinerja penjajahan pupuk oleh *metering device* di laboratorium dilakukan dengan menimbang berat pupuk yang dijajah per satuan waktu dengan memonitor berat pada timbangan digital. Skema pengukuran pada kalibrasi penjajahan pupuk di laboratorium ditunjukkan pada Gambar 5. Akuisi data digital ini dilakukan secara *real time* dengan menggunakan komunikasi serial RS 232 dengan laju sampling sekitar 10 sampling per detik.

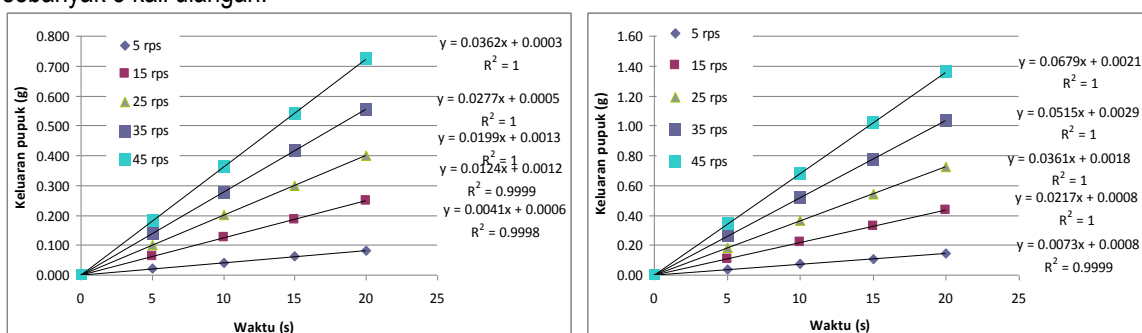


(a) Rotor tunggal

(b) Rotor ganda

Gambar 6. Putaran motor pada pengujian dengan pupuk urea

Kalibrasi dosis dilakukan pada 5 tingkat kecepatan putaran rotor penjajah pupuk yaitu 5, 15, 25, 35 dan 45 rps masing-masing dalam perioda waktu 20 detik, dan masing-masing perlakuan dilakukan sebanyak 3 kali ulangan.

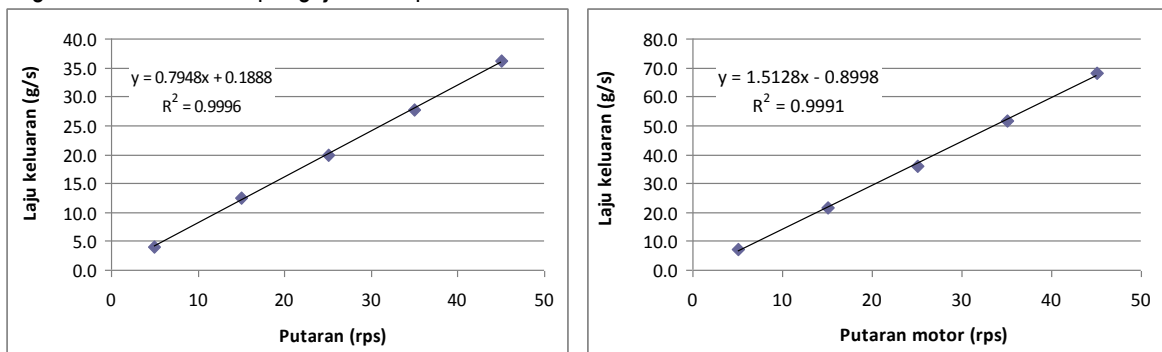


(a) rotor tunggal

(b) rotor ganda

Gambar 7. Hasil Kalibrasi menggunakan pupuk Urea

Hasil pengujian 4 unit pemupuk seperti disajikan pada Gambar 7, menunjukkan bahwa ke empat unit metering mempunyai output yang presisi dan konsisten baik pada pengujian penjataan menggunakan pupuk Urea. Hasil yang konsisten juga didapatkan pada penggunaan pupuk SP-36 maupun dengan pupuk NPK. Regresi linier data hasil pengujian hampir semua memberikan koefisien determinasi lebih dari 0.999.



Gambar 8. Hasil Kalibrasi dosis menggunakan pupuk Urea

Hasil pengujian menunjukkan bahwa karakteristik penjataan pupuk tetap linier dan proporsional untuk pengoperasian rotor tunggal maupun rotor ganda. Pengoperasian rotor ganda memberikan nilai keluaran pupuk (g/s) dua kali lipat dibandingkan pengoperasian rotor tunggal. Untuk pengoperasian dengan rotor tunggal, masing-masing nilai kalibrasi dosisnya adalah 0.794 g/s/rps untuk pupuk urea dengan koefisien determinasi lebih dari 0.999, 1.376 g/s/rps untuk pupuk SP-36 dengan koefisien determinasi lebih dari 0.999 dan 0.9388 g/s/rps untuk pupuk NPK dengan koefisien determinasi lebih dari 0.999. Prototip mesin pemupuk variabel yang dikembangkan mempunyai 4 metering device, dan digandengkan ke traktor 4-roda untuk sawah seperti ditunjukkan pada Gambar9.



Gambar 9. Prototipe mesin pemupuk laju variabel 4 jalur

KESIMPULAN DAN SARAN

Prototip mesin pemupuk laju variable 4 jalur yang digandengkan ke traktor 4-roda telah berhasil dikembangkan. Pengaturan dosis pupuk dilakukan dengan mengatur putaran rotor penjataan pupuk menggunakan motor listrik DC yang dikendalikan dengan mikrokontroler AVR 128L menggunakan algoritma digital PID. Sistem pengendali berbasis mikrokontroler ini juga dilengkapi dengan perangkat akuisisi dan perekaman data dan pengiriman data ke komputer host di lapangan secara wireless.

Sistem penjataan menggunakan rotor bintang dengan 6 sirip memberikan hasil penjataan pupuk akurat dan konsisten. Laju pengeluaran pupuk linier terhadap waktu penjataan, juga linier terhadap kecepatan putar dari rotor dengan koefisien determinasi lebih dari 99%

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penjataan pupuk tetap linier dan proporsional untuk pengoperasian rotor tunggal maupun rotor ganda. Untuk pengoperasian dengan rotor tunggal, nilai kalibrasi dosisnya adalah 0.794 g/s/rps untuk pupuk urea dengan koefisien determinasi lebih dari 0.999. Sedangkan

pengoperasian dengan rotor ganda dengan pupuk urea, nilai kalibrasi dosisnya adalah 1.513 g/s/rps dengan koefisien diterminasi lebih dari 0.999.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Direktorat Pendidikan Tinggi, Kemendiknas atas bantuan dana penelitian melalui Project I-MHERE IPB B.2.c. Terimakasih juga disampaikan kepada Abdul Azis, M.Si dan Pandu Gunawan, S.TP atas bantuan yang diberikan selama penelitian berlangsung. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada Dept Teknik Mesin dan Biosistem, IPB atas fasilitas yang diberikan selama penelitian ini dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Auernhammer, H. and J. Schuller. 1999. Precision farming. CIGR Handbook Agricultural Engineering volume III: plant production engineering. Edited by CIGR, published by ASAE.
- Radite, P.A.S., M Umeda, M. Iida, M. Khilael, 2000. Application of variable rate technology for granular fertilizer on rice cultivation. CIGR paper No.R3109. The XIV Memorial CIGR World Congress 2000, Tsukuba, Japan., Nov.28-Dec 01, 2000
- Radite, P.A.S., W. Hermawan, B. Budiyanto, and A. Azis. 2010. Development of variable rate fertilizer applicator module based on 8-bit embedded system. Proc. Int' Conf. IFATA, IICC Bogor, Oct, 4-6, 2010.