

APLIKASI KONTROL DIGITAL UNTUK PEMUPUKAN SECARA VARIABLE RATE PADA SISTEM PERTANIAN PRESISI

DIGITAL CONTROL APPLICATION FOR THE VARIABLE RATE FERTILIZATION ON PRECISION FARMING SYSTEM

Lamhot P. Manalu

Pusat Teknologi Agroindustri - BPPT
Gedung II Lt. 15 – BPPT Jl. MH. Thamrin 8, Jakarta 10340
Email : lpmanalu@yahoo.com

Diterima (*received*) : 23 September 2013, Direvisi (*reviewed*) : 26 September 2013
Disetujui (*accepted*) : 28 Oktober 2013

Abstrak

Pertanian presisi memiliki banyak aspek diantaranya pengukuran, pemetaan hasil, aplikasi laju tidak tetap dan penginderaan jarak jauh. Pemupukan nitrogen secara laju tidak tetap (*variable rate*) adalah teknik yang dikembangkan untuk aplikasi pemupukan dalam beberapa tahun terakhir. Salah satu masalah utama dalam pemupukan nitrogen secara laju tidak tetap yaitu mengontrol jumlah pemakaian pupuk agar sesuai dengan kandungan nitrat tanah. Tulisan ini menyajikan studi tentang aplikasi sistem kontrol digital untuk pemupukan nitrogen secara laju tidak tetap dalam kerangka pertanian presisi (*precision farming*). Sebuah desain kontroler tiang-penempatan didasarkan penyederhanaan modelnya digunakan dalam sistem ini. Sistem respon dinamik dari pengontrol tiang-penempatan disimulasikan pada kondisi dengan gangguan torsi dan kondisi tanpa gangguan torsi. Kontrol digital kemudian diimplementasikan ke dalam sistem prototipe dan respon dinamik dari sistem kontrol diuji di bawah kondisi gangguan torsi yang berbeda. Sistem kontrol dilakukan pada tingkat yang dapat diterima dalam kondisi gangguan torsi eksternal yang kecil. Namun, di bawah gangguan torsi besar, kondisi *steady* yang mengimbangi kesalahan dalam respon sistem tidak dapat diterima. Tulisan ini menyajikan simulasi penggunaan kontrol digital untuk pemupukan secara *variable rate*. Tujuan penggunaan teknologi *variable rate* adalah agar lokasi dengan produktivitas rendah tidak lagi dipupuk secara berlebihan sehingga mengurangi biaya.

Kata kunci: Pemupukan, kontrol, digital, laju tidak tetap, pertanian presisi.

Abstract

Precision agriculture has many facets including guidance, yield mapping, variable rate application and remote sensing. Variable rate nitrogen fertilization is a technique being developed for fertilizer application in recent years. One of the main problems in variable rate nitrogen fertilization is controlling the fertilizer application rate according to the soil nitrate level. In this paper, a digital control system for variable rate nitrogen fertilization is presented. A pole-placement controller design based on the simplified process model is used in this system. The system dynamic response of the pole-placement controller was simulated under the condition with torque disturbance and the condition without torque disturbance. The digital controller was then implemented into a prototype system and the dynamic response of the control system was tested under different torque disturbance conditions. The control system performed at acceptable levels under small external torque disturbance conditions. However, under large torque disturbances, the steady-state offset error in the system response was not acceptable and the use of a robust controller for both tracking control and disturbance rejection was recommended. This paper presents a simulation of the use of digital control for variable rate fertilization. The benefits of using variable rate technology are very clear. Low yielding areas of the field are no longer over fertilized resulting in reduction of costs in those areas.

Keywords : *fertilization, digital control, variable rate, precision farming.*

1. PENDAHULUAN

Di negara-negara maju monitoring daerah pertanian dengan mengumpulkan secara kontinu data sumber daya pertanian, memproses dan menganalisis, serta menginformasikan untuk keperluan manajemen pertanian secara praktis telah dilakukan sejak pertengahan tahun 1980. Sejalan dengan perkembangan teknologi informasi, sistem monitoring kian disempurnakan secara lebih spasial. Konsep awal dari kegiatan monitoring ini adalah menekan biaya produksi pertanian dan meminimalkan efek kegiatan pertanian terhadap lingkungan. Strategi tersebut dikenal dengan pertanian presisi (*precision farming*). Kunci utama yang membedakan manajemen pertanian secara konvensional dengan *precision farming* adalah penggunaan teknologi informasi spasial yang digunakan untuk mengumpulkan, memproses, dan menganalisis berbagai sumber data spasial pertanian (pembibitan, pemupukan, pestisida, irigasi) secara kontinu sebagai pendukung keputusan untuk optimalisasi hasil pertanian dengan mempertahankan sumber daya alam yang ada (Darmawan *et al.*, 2006).

Perkembangan teknologi yang semakin pesat memberikan dampak positif bagi pembangunan pertanian. Isu tentang *precision farming* membuka banyak kemungkinan untuk peningkatan mutu dan produktifitas di bidang pertanian. *Precision farming* atau *precision agriculture* adalah konsep pertanian yang didasarkan pada variabilitas lahan pertanian, dan merupakan pendekatan untuk menentukan tindakan yang tepat pada lokasi yang tepat dengan cara yang tepat pada saat yang tepat.

Precision farming membutuhkan teknologi baru seperti *global positioning system* (GPS), sensor tanah, sensor tanaman, sensor hama, satelit atau foto udara, dan sistem informasi geografis (GIS) untuk menilai dan memahami berbagai variabel lahan. Kumpulan informasi bisa digunakan untuk mengevaluasi secara lebih teliti kerapatan pembenihan yang optimum, mengestimasi penggunaan pupuk dan herbisida, serta memprediksi hasil panen lebih tepat. *Precision farming* juga dapat menghindari pemakaian input usaha tani lainnya secara berlebihan, memberikan sesuai takaran berdasarkan kondisi tanah dan iklim, dan membantu menaksir takaran yang tepat untuk pembasmian hama penyakit (Sonka, 1997; Thorp & Tian, 2004).

Manfaat dari *precision farming* adalah meningkatkan efisiensi dan efektifitas pengelolaan lahan dari berbagai aspek seperti aspek agronomi, teknik dan ekonomi. Khusus untuk aspek lingkungan dapat mengurangi pencemaran misalnya dengan

peningkatan akurasi estimasi kebutuhan nitrogen akan mengurangi tingkat cemaran karena nitrogen yang terbawa run-off dapat diminimalisasi. Keuntungan lain yang akan didapatkan oleh petani adalah terbentuk sistem basis data akurat yang bisa membantu petani untuk mencatat data-data usaha tani dan hasil panen, sehingga dapat membantu dalam pengambilan keputusan (Auernhammer, 2001).

Tujuan tulisan ini adalah melakukan simulasi untuk mengetahui kinerja kontrol digital pada alat pemupukan yang bekerja secara *variable rate* pada sistem pertanian presisi.

1.1. Aktifitas *Precision Farming*

Precision farming yang memiliki orientasi *site specific land management* dengan tiga aktifitas utama berupa *measurement*, *analysis*, dan *control*, membutuhkan proses evaluasi dan analisa dari semua data yang tersedia kemudian memberikan penyelesaian berkaitan dengan aktifitas yang harus dilakukan. Data yang dimaksudkan merupakan data sekunder berupa data klimatologi, tekstur tanah, topologi lahan, dan masih banyak lagi - ataupun data *realtime* yang didapatkan dari pengideraan sensor, maupun citra dari satelit. Aktifitas utama dari *precision farming* adalah sebagai berikut ini.

1.1.1 Pengukuran

Data yang dikumpulkan pada penerapan *precision farming* berupa data pokok berupa areal pertanian, pembibitan, karakteristik/nutrien tanah, saluran irigasi, pemupukan, insektisida, pestisida serta bahan organik lainnya; dan data penunjang berupa prediksi cuaca, dataran banjir serta data lainnya yang disesuaikan dengan kondisi daerah untuk menunjang kegiatan pertanian. Dalam praktek di lapangan pengumpulan data dilakukan petak-perpetak. Data tersebut terkumpul secara kontinu dan terhimpun dalam sebuah basis data spasial. Hal yang harus diperhatikan adalah data yang digunakan, interpretasi, analisis data dan implementasi menggunakan skala dan waktu yang sesuai (Darmawan *et al.*, 2006).

1.1.2 Analisis

Teknologi GIS dapat digunakan untuk menyimpan data, manajemen data, analisis data dan visualisasi dalam bentuk spasial dan tabular. Kelebihan dalam pengelolaan pertanian dapat menghubungkan informasi lokasi petak pertanian di lapangan (spasial) dan kondisi/perilakunya (atribut)

sehingga dapat menganalisis petak pertanian akibat perilaku hama yang menyerang, akibat kondisi irigasi, kondisi banjir atau kekeringan (Darmawan *et al.*, 2006).

Sistems Informasi Geografis (GIS) adalah teknologi informasi untuk analisa dan manajemen dari data spasial dan pemetaan. Data *remote sensing* (RS) yang mengidentifikasi variabel lahan dan GIS menentukan lokasi dan mendefinisikan fitur spasial yang harus diberikan sesuai dengan aplikasi *site-specific* (Nahry *et al.*, 2011). *Variable rate technology* (VRT) memberikan ukuran input yang harus diberikan pada target sesuai dengan aplikasi *site-specific*. *Yield monitoring* mencatat produktifitas tanaman sebagai data historis untuk majemen tanaman. Penggunaan teknologi *precision farming* sangat bergantung pada GIS/GPS/RS/VRT dan monitoring (Tifton, 2001; Doebelin, 1990).

1.1.3 Kontrol

GPS sebagai pijakan untuk manual atau sistem pengendalian otomatis; software untuk melacak dan mengumpulkan hasil panen, data tanah, data iklim, dan data input lainnya; VRT adalah perangkat penting sebagai pengendali untuk aplikasi input (Ogata, 1997). Perubahan pada implemen traktor yang dikombinasikan dengan teknologi wireless memberikan atmosfer baru dalam integrasi teknologi wireless. Sistem informasi mikrokontroler (PLC) pada sistem otomatis bisa dilakukan lewat teknologi jaringan wireless.

1.2. Penerapan Precision farming

Pertanian presisi dapat diterapkan pada berbagai tanaman budidaya, sereal, hortikultura, maupun tanaman keras, bahkan sudah mulai diteliti penggunaannya untuk peternakan. Aspek teknologi yang digunakan juga bervariasi, dapat berupa kombinasi teknologi tinggi dengan rendah, bahkan pemungutan hasil panen juga masih menggunakan metode manual. Sebagai contoh penerapan *precision farming* dengan dukungan teknologi rendah adalah perkebunan kurma di Saudi Arabia menggunakan lahan pertanian yang telah beroperasi dengan tanaman usia panen, menggunakan pemberian ID (identitas) pada tiap-tiap pohon kurma yang diplot kedalam peta tanaman. *Yield monitoring* juga dilakukan terhadap masing-masing ID, aplikasi pemupukan dilakukan secara manual sesuai dengan peta tanaman. Capaian yang diraih dengan perlakuan *precision farming* adalah pengurangan tenaga kerja dan pengurangan penggunaan pupuk (Gil *et al.*, 2007; Godwin *et al.*, 2003).

Contoh lain dukungan teknologi rendah dari *precision farming* adalah pada perkebunan teh di

Afrika Timur. Lahan yang digunakan sudah terstruktur dengan baik dan diatur dalam blok per blok. Pemetaan tanaman dilakukan secara manual dilakukan juga pencatatan berat dan kualitas. Pemupukan dilakukan sesuai dengan peta tanaman, capaian yang diraih adalah sistem irigasi dan pengaturan logistik yang lebih baik.

Precision farming dengan dukungan teknologi skala menengah dilakukan pada industri gula di Australia, Brazil, dan Mauritius, lahan telah terstruktur secara baik dalam blok-blok yang kecil. Pemanenan dan pemupukan dilakukan dengan manual maupun secara mekanis. Capaian yang diraih adalah pengurangan biaya dan di Brazil tercatat tidak pernah terjadi kebakaran tebu selama tahun 2006 (Blackmore, 2006).

Di Amerika tengah (US) meskipun bukan dalam rangka kegiatan pertanian berkelanjutan, para petani berusaha meningkatkan keuntungan dengan cara hanya memupuk petakan sesuai keperluan. Aplikasi ini menyebabkan petani memberikan pupuk pada tiap petakan dengan jumlah yang bervariasi, sehingga penggunaan pupuk lebih optimum sehingga meningkatkan efisiensi. Proses ini membutuhkan teknologi GPS untuk mengidentifikasi lokasi pemupukan (metode GGS, *Guided Grid Sampling*). Berikut ini disajikan bagaimana teknologi *variable rate* dengan sistem kendali digital diterapkan untuk pemupukan nitrogen (Yu Li and Kushwaha, 1994).

2. PENDEKATAN MASALAH

Praktek pertanian yang sudah bertahun-tahun menghasilkan pengetahuan tentang karakteristik dan produktivitas lahan. Adanya variabilitas tanah menyebabkan kebutuhan pupuk perluasan lahan juga berbeda. Adsett *di dalam* Yu Li dan Kushwaha (1994) menyatakan bahwa akan sangat menguntungkan bila tingkat kandungan nitrat dalam tanah dapat diketahui sehingga pemakaian pupuk nitrogen dapat disesuaikan dengan kebutuhan. Atas dasar inilah dikembangkan teknologi *variable rate nitrogen fertilizer* (VRNF) untuk menghindari kekurangan atau kelebihan pupuk pada suatu bagian lahan/ hampan pertanian (Torbett *et al.*, 2006).

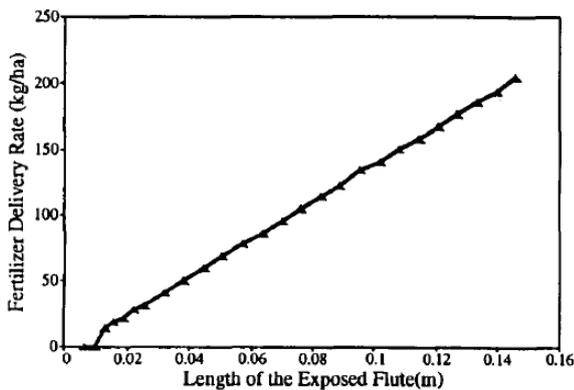
Beberapa *spreader* pupuk sudah dimodifikasi untuk dapat melakukan pemupukan secara *variable rate*, tetapi perubahan lajunya masih dikendalikan secara manual oleh operator. Kendala utama metode ini adalah dibutuhkannya perhatian dan konsentrasi terus-menerus dari operator yang membuat orang cepat menjadi lelah. Untuk mengatasi kendala tersebut perlu dikembangkan suatu sistem otomatis yang dapat melakukan pemupukan secara *variable rate* dengan membaca sinyal input dari peta yang telah direkam sebelumnya atau dari alat sensor.

Beberapa alat sensor yang memonitor level nitrogen tanah sudah dikembangkan dan dapat digunakan secara *real-time* (Isgin *et al.*, 2008).

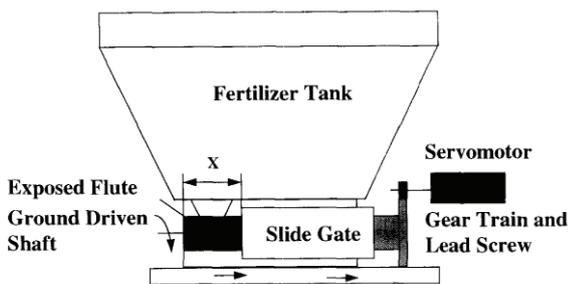
3. METODOLOGI

3.1. Desain Sistem Kontrol

Gambar 1 memperlihatkan hubungan laju pemberian pupuk terhadap panjang *exposed flute* adalah linier, sehingga laju pemberian pupuk dapat dikontrol dengan mengontrol panjang *exposed flute*. Sedangkan Gambar 2 menunjukkan metode yang digunakan untuk menyesuaikan laju pemberian pupuk dengan menggunakan servo motor.



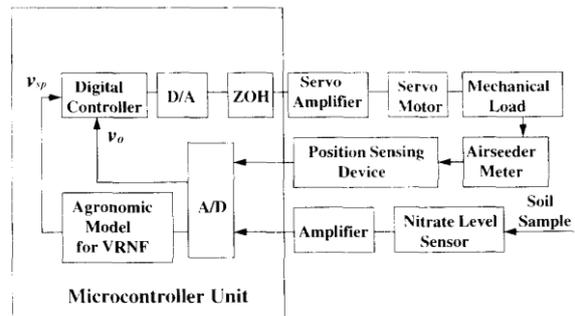
Gambar 1. Grafik laju pemberian pupuk terhadap panjang *exposed flute* (John Deere, 1988)



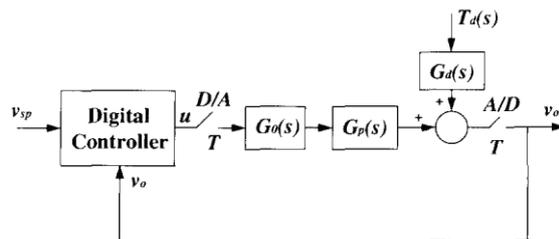
Gambar 2. Sistem pengaturan laju pemberian pupuk (Yu Li and Kushwaha, 1994).

Pada Gambar 3, terlihat voltase output dari sensor nitrat setelah diperkuat dimasukkan ke konverter A/D oleh mikro kontroler unit. Setpoint sistem kontrol digital dihitung dari sinyal level sampel nitrat dengan menggunakan model agronomis untuk VRNF. Nilai set poin ini dihubungkan dengan posisi *slide gate* yang diinginkan, sedangkan posisi aktualnya diukur dengan potensiometer. Sinyal yang masuk

berhubungan dengan selisih antara posisi *slide gate* yang diinginkan dengan posisi aktualnya. Dalam hal ini sinyal eror dimanipulasi oleh digital controller. Keluaran dari digital controller dikonversi ke sinyal analog dan dilewatkan pada alat zero order hold (ZOH) dan diperkuat sebagai input untuk servomotor DC yang selanjutnya menjadi penggerak gear train dan lead screw untuk mengontrol posisi *slide gate*.



Gambar 3. Diagram blok desain sistem kontrol (Yu Li and Kushwaha, 1994)



Gambar 4. Model feedback control loop dalam domain s

Bentuk *feedback control loop* pada Gambar 3 kemudian diubah ke dalam domain Laplace sebagaimana Gambar 4. $T_d(s)$ adalah transformasi Laplace dari gangguan (disturbance input). T , v_{sp} , u dan v_o masing-masing adalah input set point, output kontroler dan output sistem. $G_p(s)$ adalah fungsi transfer dari servomotor yang mengatur jumlah pupuk secara mekanik, $G_d(s)$ adalah fungsi transfer dari gangguan sedangkan $G_0(s)$ adalah fungsi transfer alat ZOH.

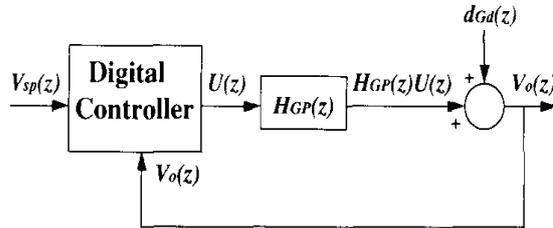
$$G_p(s) = K \frac{1}{s(\tau_m s + 1)} \tag{1}$$

$$G_d(s) = -K_d \frac{1}{s(\tau_m s + 1)}$$

$$G_0(s) = \frac{1 - \exp[-sT]}{s} \tag{3}$$

Dimana K adalah konstanta yang dihitung dari resolution konverter D/A dan A/D. K_d adalah

konstanta gangguan, τ_m time constant, T interval sampling dan s adalah variabel kompleks dari transformasi Laplace.



Gambar 5. Model *feedback control loop* dalam domain s

Berdasarkan model pada Gambar 4 disusun model loop control dalam domain z sebagaimana Gambar 5, dimana $V_{sp}(z)$ adalah input setpoint, $U(z)$ adalah output kontroler dan $V_o(z)$ adalah output sistem. Fungsi transfer $H_{GP}(z)$ diturunkan sebagai berikut:

$$H_{GP}(z) = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (4)$$

$$A(z) = 1 + a_1z^{-1} + a_2z^{-2} \quad (5)$$

$$B(z) = K\tau_m(b_1z^{-1} + b_2z^{-2}) \quad (6)$$

$$a_1 = -1 - \exp[-T/\tau_m] \quad (7)$$

$$a_2 = \exp[-T/\tau_m] \quad (8)$$

$$b_1 = -1 + T/\tau_m + \exp[-T/\tau_m] \quad (9)$$

$$b_2 = 1 - (1 + T/\tau_m) \exp[-T/\tau_m] \quad (10)$$

dengan menggunakan gangguan torsi sebagai input sinyal step, maka total torsi gangguan kepada output sistem dapat dihitung sebagai:

$$d_{Gd}(z) = -T_D \frac{b_1z^{-1} + b_2z^{-2}}{(1 - z^{-1})^2(1 - bz^{-1})} \quad (11)$$

dimana $T_D = T_d K_d$ τ_m adalah koefisien input step gangguan. Proses pengendalian sebagaimana Gambar 4 dapat dideskripsikan dengan persamaan,

$$V_o(z) = H_{GP}(z)U(z) + d_{Gd}(z) \quad (12)$$

$$A(z)V_o(z) = B(z)U(z) + d_{Gd}(z)A(z) \quad (12a)$$

dengan mendefinisikan:

$$L_D(z) = \frac{d_{Gd}(z)A(z)}{T_D} = -\frac{b_1z^{-1} + b_2z^{-2}}{1 - z^{-1}} \quad (12b)$$

persamaan 12 dapat ditulis sebagai:

$$A(z)V_o(z) = B(z)U(z) + T_D L_D(z) \quad (13)$$

Persamaan (13) mewakili model proses dan menggambarkan hubungan transformasi z dari input ($U(z)$, $d_{Gd}(z)$) dan output sistem, $V_o(z)$.

3.2. Desain Kontrol Digital

Steady-state offset error adalah parameter yang sangat penting dari respon step. Nilainya mengacu kepada perbedaan antara nilai output sistem dengan nilai setpoint (Ziemer et al., 1990). Dalam desain ini *steady-state offset error* tidak diinginkan karena menyebabkan kekurangan atau kelebihan pemupukan akibat bukaan yang salah dari *driven flute* alat aplikator pupuk. Untuk itu yang menjadi kebutuhan pertama dalam mendesain kontrol adalah membuat steady-state offset error sekecil mungkin.

Dua parameter penting lain adalah *settling time* dan *overshoot*. Dari sudut pandang praktis, diinginkan sistem kontrol dapat merespon perubahan set poin secara cepat karena laju perubahan pemberian pupuk dapat berubah dalam selang waktu yang sangat pendek. Dengan pertimbangan ini diperlukan *settling time* yang singkat dan juga perlu dihindari adanya *overshoot*.

Ada beberapa algoritma dalam mendesain kontrol dengan sistem single input/ output feedback control, salah satunya adalah *pole-placement algorithm* (Leigh, 1985) yang dirumuskan sebagai:

$$F(z)U(z) = H(z)V_{sp}(z) - G(z)V_o(z) \quad (14)$$

dimana,

$$\begin{aligned} F(z) &= 1 + f_1z^{-1} + f_2z^{-2} + f_3z^{-3} + f_4z^{-4} + \dots + f_Fz^{-F} \\ H(z) &= h_0 + h_1z^{-1} + h_2z^{-2} + h_3z^{-3} + h_4z^{-4} + \dots + h_Hz^{-H} \\ G(z) &= g_0 + g_1z^{-1} + g_2z^{-2} + g_3z^{-3} + g_4z^{-4} + \dots + g_Gz^{-G} \end{aligned} \quad (15, 16, 17)$$

model persamaan berikut:

$$V_o(z) = (B(z)/A(z))U(z) \quad (18)$$

Misal $T_D = 0$ dan orde polinomial persamaan (5) dan (6) $A = 2$ dan $B = 2$. Selanjutnya dengan menyelesaikan persamaan (14) dan (18) secara simulatan didapatkan:

$$(19)$$

$$V_o(z) = \frac{B(z)H(z)}{A(z)F(z) + B(z)G(z)} V_{sp}(z)$$

Dari persamaan (19) T(z) menjadi,

$$T(z) = A(z)F(z) + B(z)G(z) \tag{20}$$

Berdasarkan hubungan antara lokasi pole dan respon sistem didapatkan bahwa sistem dinamik respon memuaskan pada saat lokasi pole diset pada $z = 0.3$ dengan:

$$T(z) = 1 - 0.3z^{-1} \tag{21}$$

$$A + F = B + G = F + G + 1 \tag{22}$$

$$G = A - 1 = 2 - 1 = 1 \tag{22a}$$

$$F = B - 1 = 2 - 1 = 1 \tag{22b}$$

Dengan mengetahui koefisien G dan F dan menggunakan persamaan (20) didapatkan:

$$f_1 = \frac{a_2 b_1 b_2 - 0.3 b_2^2 - a_1 b_2^2}{a_2 b_1^2 + b_2^2 - a_1 b_1 b_2} \tag{23}$$

$$g_0 = \frac{1}{K \tau_m} \frac{-0.3 - a_1 - f_1}{b_1} \tag{24}$$

$$g_1 = -\frac{1}{K \tau_m} \frac{a_2}{b_2} f_1 \tag{25}$$

Dari persamaan (19), untuk mendapatkan offset error H(z) bernilai nol maka harus terpenuhi:

$$H(z) = h_0 = \frac{T(z)}{B(z)} \Big|_{z=1} = \frac{1 - 0.3}{K \tau_m (b_1 + b_2)} \tag{26}$$

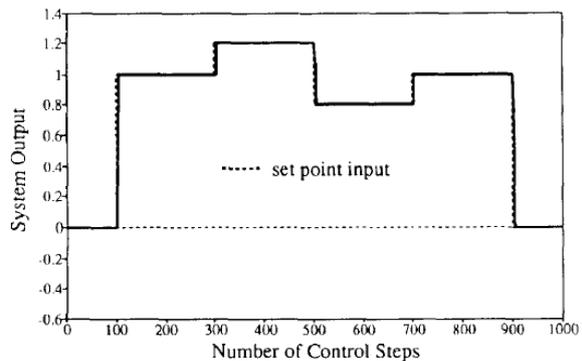
Terdapat dua basis persamaan untuk simulasi respon sistem, yang pertama untuk menggambarkan model proses (persamaan 13) dan kedua menggambarkan pole-placement dari kontrol (persamaan 15). Diskritisasi kedua persamaan tersebut digunakan untuk simulasi, dalam bentuk persamaan berikut:

$$v_o(t) = b_0 u(t) + b_1 u(t-1) + b_2 u(t-2) + \dots + b_B u(t-B) - (a_1 v_o(t-1) + a_2 v_o(t-2) + \dots + a_A v_o(t-A)) + T_D L D(t)$$

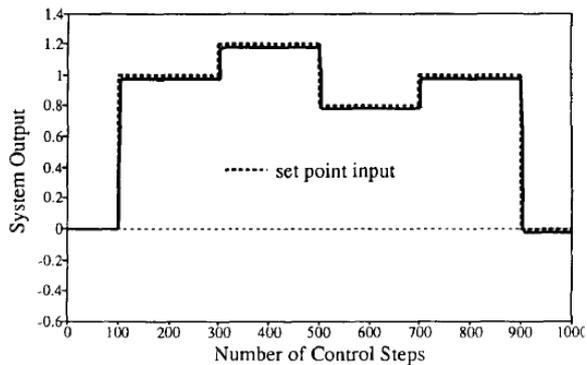
$$u(t) = (h_0 v_{sp}(t) + h_1 v_{sp}(t-1) + h_2 v_{sp}(t-2) + \dots + h_H v_{sp}(t-H)) - (g_0 v_o(t) + g_1 v_o(t-1) + g_2 v_o(t-2) + \dots + g_G v_o(t-G)) - (f_1 u(t-1) + f_2 u(t-2) + \dots + f_F u(t-F))$$

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 6 menunjukkan respon pole-placement controller dengan input sinyal step tanpa adanya torque disturbance ($T_D = 0$), terlihat tidak ada steady-state error maupun overshoot. Sedangkan untuk kondisi dengan torque disturbance ($T_D/V_{sp} = 1$) respon pole-placement controller sistem terlihat pada Gambar 7.



Gambar 6. Simulasi respon dinamis dari pole-placement controller terhadap input sinyal step tanpa torque disturbance (Yu Li and Kushwaha, 1994)



Gambar 7. Simulasi respon dinamis dari pole-placement controller terhadap input sinyal step dengan torque disturbance (Yu Li and Kushwaha, 1994)

Hasil simulasi mengindikasikan bahwa output dari sistem akan diikuti dengan perubahan set point dengan settling time yang singkat dan tanpa adanya overshoot, kecuali jika terdapat steady-state offset error lebih besar dari 1.6% dari input set point. Steady-state offset error disebabkan oleh diberikannya torque disturbance kepada sistem, dengan harapan bahwa steady-state offset error akan meningkat seiring meningkatnya torque disturbance. Dari kebutuhan umum yang sudah disebutkan sebelumnya, desain kontrol menghendaki steady-state offset error yang kecil, settling time yang singkat dan sekecil mungkin overshoot, maka sistem

kontrol *pole-placement* ini (sebagaimana ditunjukkan Gambar 6 dan 7) telah menampilkan kinerja yang memuaskan.

Hasil simulasi telah menunjukkan bahwa sistem kontrol dengan menggunakan *pole-placement controller* dapat dengan baik merespon input set point untuk kondisi *torque disturbance* kepada sistem kontrol tidak besar, walaupun dalam percobaan dengan *torque disturbance* yang besar, *steady-state offset error* dari respon sistem tidak dapat diterima. Karena *torque disturbance* dalam sistem kontrol dapat dieliminasi, penggunaan robust controller baik untuk kontrol lintasan (tracking control) dan maupun penolakan gangguan (disturbance rejection) dapat direkomendasikan.

5. KESIMPULAN

Alat pemupuk nitrogen yang dikontrol secara *variable rate* dengan metode *pole-placement controller* telah menunjukkan kinerja yang baik. Alat ini sudah mampu merespon input setpoint dengan tingkat kesalahan yang dapat diterima, baik menyangkut *steady-state offset error*, *settling time* maupun *overshoot*.

Meskipun tidak dapat dipungkiri bahwa introduksi teknologi tinggi merupakan syarat penting, dalam pelaksanaannya harus tetap diingat bahwa *precision farming* lebih merupakan proses manajemen dari pada hanya sekedar implementasi teknologi. Dampak *precision farming* terhadap kelestarian lingkungan juga mengarah pada pengaruh yang positif. Pengaruh terpenting adalah pada sektor ekonomi yang pada akhirnya akan meningkatkan kesejahteraan petani.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih disampaikan kepada Laboratorium Instrumentasi dan Kontrol serta Laboratorium Mekatronika dan Robotika Departemen Teknik Mesin dan Biosistem Fateta IPB atas fasilitas dan konsultasi dalam penulisan naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Auernhammer, H. 2001. *Precision farming – the environmental challenge*. Computers and Electronics in Agriculture, 30, 31-43.
- Blackmore S. 2006. *Precision farming: a dynamic process*. The Center for Precision Farming. Denmark: Royal Veterinary Agricultural University.
- Darmawan S. et al. 2006. *Precision farming*. Pusat Penginderaan Jauh – ITB, Bandung: Kelompok
- Kepakaran Inderaja dan Sains Informasi Geografik. ITB
- Doebelin, O. 1990. *Measurement System, Application and Design*, 4th Edition. McGraw-Hill Pub. Co., New York.
- Gil, E., A. Escola, J.R. Rosell, S. Planas, and L. Val. 2007. Variable rate application of plant protection products in vineyard using ultrasonic sensors. *Crop Protection*, 26, 1287–1297
- Godwin, R. J., T. E. Richards, G. A. Wood, J. P. Welsh, S. M. Knight. 2003. *An Economic Analysis of the Potential for Precision Farming in UK Cereal Production*. *Biosystems Engineering*, 84 (4), 533–545.
- Isgin, T., Bilgic, A., Forster, D.L., Marvin T. Battec. 2008. *Using count data models to determine the factors affecting farmers' quantity decisions of precision farming technology adoption*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 62, 231–242.
- Leigh, J.R. 1985. *Applied Digital Control: Theory, Design and Implementation*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Nahry, A.H.E, R.R. Ali, A.A. El Baroudy. 2011. *An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques*. *Agricultural Water Management*, 98(4), 517-531.
- Ogata, K., 1997. *Teknik Kontrol Otomatik Jilid I dan II*, Edisi 2. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Sonka, S. T. 1997. *Precision agriculture in the 21st Century*. Geospatial and Information Technologies in Crop Management. USA: National Research Council.
- Tifton, G.A. 2001. *Precision agriculture - site specific farming*. USDA - University of Florida. Florida: Jefferson County National Environmentally Sound, Production Agriculture Lab (NESPAL)
- Thorp, K.R. and L.F. Tian. 2004. *Performance Study of Variable-rate Herbicide applications based on Remote Sensing Imagery*. *Biosystems Engineering*, 88 (1), 35–47
- Torbett, J.C., R.K. Roberts, J. A. Larson, B. C. English. 2006. *Perceived improvements in nitrogen fertilizer efficiency from cotton precision farming*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 64(2), 140-148.
- Yu Li and Kushwaha. 1994. *A digital control system for variable rate nitrogen fertilization*.

Computers and Electronics in Agriculture 10,
245-258.

Ziemer, R.E., W.H. Tranter and D.R. Fanin. 1990.
Signal and System, Continous and Discreet, 2nd
Edition. McMillan Pub. Co., New York.