

# EVALUASI ALGORITMA FAZI SEDERHANA SEBAGAI METODE KENDALI PINTU SORONG

## (EVALUATION OF SIMPLE FUZZY ALGORITHM AS SLUICE GATE CONTROL METHOD)

Oleh:

**Hanhan A. Sofiyuddin<sup>\*)</sup>, Satyanto K. Saptomo<sup>\*\*)</sup>, Budi I. Setiawan<sup>\*)</sup>**

<sup>\*)</sup>Balai Irigasi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum

<sup>\*\*)</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor  
Komunikasi penulis, email : [hanhan.ahmad@gmail.com](mailto:hanhan.ahmad@gmail.com)

Naskah ini diterima pada 11 September 2011; revisi pada 19 September 2011;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 26 September 2011

### ABSTRACT

*Discharge of flow under sluice gate at tertiary intake is quite sensitive to fluctuation of upstream water level so that gate opening should be adjusted frequently. This could be easily done using automatic mechanism of sluice gate that controlled by simple fuzzy logic algorithm. In this paper, simulation was done to evaluate this algorithm in controlling constant discharge at tertiary intake. Simulations was done for 3 types of scenario i.e. (1) at free flow under high upstream water level, (2) at free flow under low upstream water level, (3) at transition from free to submerged flow. These simulation resulted Delivery Performance Ratio (DPR) at acceptable range if the simple fuzzy logic algorithm was used. When sluice gate operated at constant opening, mean DPR of each scenario are 0,96, 0,86 and 0,82. Better results were observed when simple fuzzy algorithm was used, mean DPR are 1,00 for each scenario.*

**Keywords:** *fuzzy, discharge control, sluice gate*

### ABSTRAK

Fluktuasi tinggi muka air di hulu pintu sorong pada bangunan sadap tersier dapat cukup berpengaruh pada stabilitas debit yang dialirkan. Dengan demikian agar debit yang dialirkan cukup stabil, bukaan pintu perlu diatur sesering mungkin. Pengaturan ini dapat dipermudah dengan menggunakan sistem mekanik otomatis yang dikendalikan dengan algoritma fazi sederhana. Dalam makalah ini, simulasi dilakukan untuk mengevaluasi algoritma ini untuk menjaga agar debit tetap konstan di bangunan sadap tersier. Simulasi dilakukan pada 3 tipe skenario, yaitu (1) pada aliran sempurna dengan muka air di hulu yang cukup tinggi, (2) pada aliran sempurna dengan muka air yang rendah, (3) pada transisi aliran sempurna ke aliran tidak sempurna. Hasil simulasi menunjukkan bahwa Delivery Performance Ratio (DPR) berada pada rentang yang cukup baik apabila menggunakan algoritma fazi sederhana. Apabila pintu air dioperasikan pada bukaan tetap, maka rata-rata DPR yang didapatkan untuk ketiga skenario yaitu 0,96, 0,86 dan 0,82. Apabila algoritma fazi digunakan, maka rata-rata DPR yang didapatkan lebih baik yaitu 1,00 untuk ketiga skenario.

**Kata kunci:** *Fazi, Pengendalian Debit, Pintu Sorong*

## I. PENDAHULUAN

Pintu sorong merupakan alat pengatur debit yang umum digunakan dan direkomendasikan dalam Kriteria Perencanaan Irigasi/KP-04 (Direktorat Irigasi, 2010). Alat ini mempunyai beberapa kelebihan di antaranya tinggi muka air hulu dapat dikontrol dengan tepat, pintu bilas kuat dan sederhana serta sedimen yang diangkut dapat melewati pintu (Direktorat Irigasi, 2010). Namun demikian, pintu sorong memiliki beberapa kekurangan di antaranya fluktuasi tinggi air dapat cukup berpengaruh pada debit yang dialirkan (Horst, 1996). Fluktuasi tinggi air di jaringan irigasi umumnya diakibatkan oleh pola giliran air, perubahan debit *intake* bendung, perubahan dimensi saluran (karena sedimentasi, tumbuhan, dan sebagainya) atau pengoperasian pintu ilegal (Horst, 1996). Dengan demikian, pintu sorong memerlukan pengaturan yang intensif. Dalam hal ini, diperlukan pengendalian secara otomatis pada pintu sorong yang digerakkan secara mekanis diperlukan untuk memudahkan pengaturan debit irigasi ke petak tersier dengan menggunakan sistem kendali optimal.

Salah satu metode pengendalian yang dapat digunakan adalah logika fazi sederhana (*Simple Fuzzy Logic*) yang dikembangkan oleh Iskandar dkk (1997). Sebelum diaplikasikan pada prototipe di lapangan, metode ini perlu dievaluasi terlebih dahulu sehingga dapat diketahui performa pengendaliannya dan nilai parameter optimalnya.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui performa metode fazi sederhana sebagai sistem kendali pintu sorong dalam pengaturan debit irigasi ke petak tersier. Hasil simulasi dalam penelitian ini dapat menjadi masukan dalam penelitian lanjutan pembuatan prototipee pintu sorong otomatis pada *intake* tersier.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Sistem kendali merupakan sebuah perangkat yang digunakan untuk melakukan pengaturan suatu proses untuk mencapai tujuan dari sistem itu. Sistem kendali otomatis dapat mengatur tanpa bantuan manusia berdasarkan suatu rancangan pola proses yang telah ditentukan sebelumnya. Komponen utama dari suatu sistem kendali otomatis adalah pengendali, aktuator dan umpan balik (*feedback*). Pengendali merupakan

rangkaian logika yang telah dirancang sebelumnya agar sistem dapat menghasilkan output yang diinginkan. Aktuator merupakan alat yang digunakan untuk mengubah kondisi sistem berdasarkan pengendalian yang akan dilakukan. Umpan balik (*feedback*) merupakan penilaian balik terhadap output setelah suatu tindakan pengendalian dilakukan yang digunakan sebagai input untuk menentukan langkah pengendalian selanjutnya.

Pengendali sangat mempengaruhi sistem dalam hal performa, responsifitas dan stabilitas sistem. Pengendali yang baik dapat menggerakkan sistem secara efektif untuk mencapai output yang diharapkan. Saat ini telah banyak berkembang model pengendalian yang digunakan seperti model pengendalian *on-off*, PID (*Proportional Integral Differential*), fazi, jaringan syaraf tiruan/*artificial neural network* (JST/ANN) dan lain sebagainya.

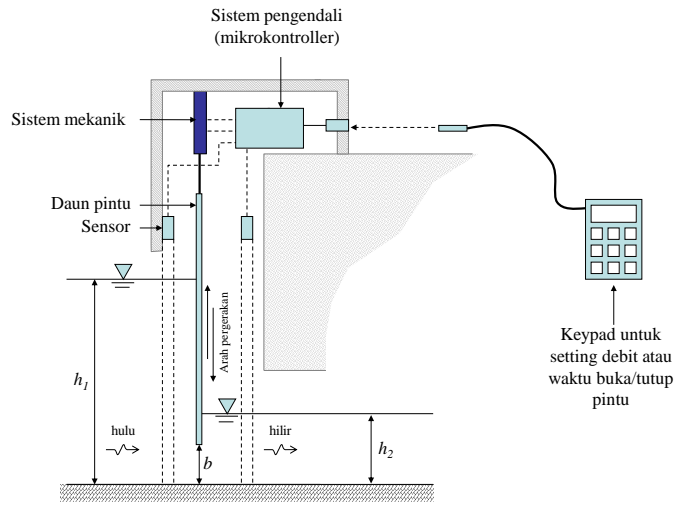
Dalam bidang irigasi dan drainase, model pengendalian yang banyak digunakan adalah model pengendalian fazi seperti yang telah dikembangkan oleh Setiawan dkk. (2001a), Setiawan dkk. (2001b), Setiawan dkk. (2002) dan Saptomo dkk. (2004) untuk mengatur muka air di lahan basah. Sistem kendali fazi yang digunakan adalah algoritma fazi sederhana yang dikembangkan oleh Iskandar dkk. (1997). Metode ini sangat sederhana sehingga dapat dengan mudah diimplementasikan baik menggunakan komputer, mikrokontroler ataupun PLC (*Programable Logic Controller*) (Iskandar dkk., 1997).

## III. METODOLOGI

### 3.1. Gambaran Rancangan Prototipe Pintu Air

Pengendalian fazi direncanakan diaplikasikan pada prototipe pintu air tipe sorong yang digerakkan secara mekanis. Dalam prototipe ini data bukaan pintu, tinggi muka air di hulu dan hilir pintu diukur menggunakan sensor-sensor tinggi air dan jarak. Data tersebut kemudian digunakan sebagai input untuk pengendalian sistem mekanik oleh mikrokontroller. Nilai debit yang direncanakan diinputkan ke dalam mikrokontroller melalui *keypad* portabel. Pintu kemudian beroperasi secara otomatis untuk mengatur debit sesuai dengan pola yang telah direncanakan. Skema prototipee pintu air terdapat pada

Gambar 1.



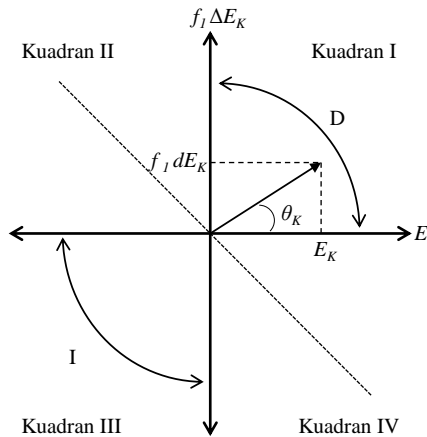
Gambar 1 Skema rancangan prototipee pintu air

### 3.2. Pengendalian Fazi

Metode fazi yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada bidang polar sistem kendali fazi sederhana untuk keperluan irigasi dan drainase yang dikembangkan oleh Iskandar dkk. (1997). Selisih antara set point dan nilai aktual direpresentasikan sebagai error ( $E_K$ ) dengan laju perubahan selisih sebagai beda error ( $\Delta E_K$ ). Besaran tersebut difazifikasi berdasarkan bidang polar seperti pada Gambar 2.

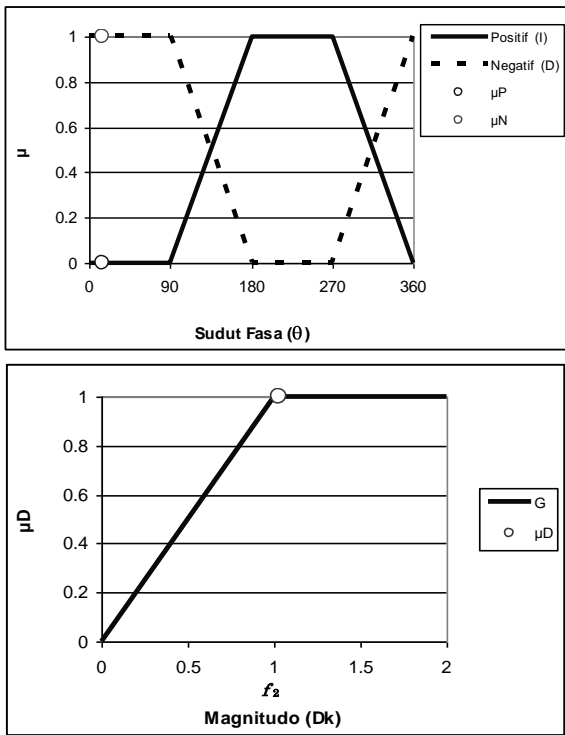
$$\theta_K = \cos^{-1} \frac{E_K}{D_K} \dots\dots\dots (2)$$

$D_K$  adalah magnitudo dan  $\theta_K$  adalah sudut fasa yang membentuk suatu koordinat polar,  $f_i$  adalah parameter yang dapat diatur untuk meningkatkan performansi sistem. Dari bidang polar aturan kendali fazi tersebut di atas dapat diturunkan sebuah fungsi keanggotaan untuk  $\theta_K$  dan untuk  $D_K$  seperti pada

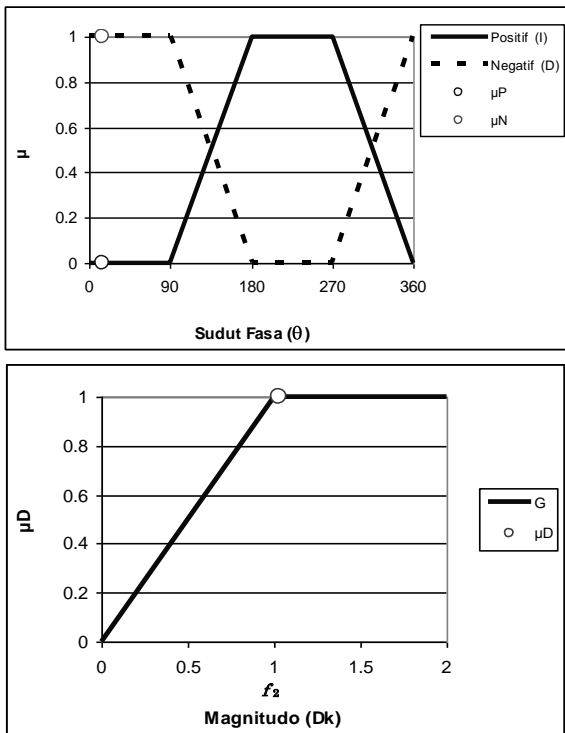


Gambar 2 Bidang polar sistem kendali fazi sederhana

$$D_K = \sqrt{E_K^2 + f_1 \Delta E_K^2} \dots\dots\dots (1)$$



Gambar 3.



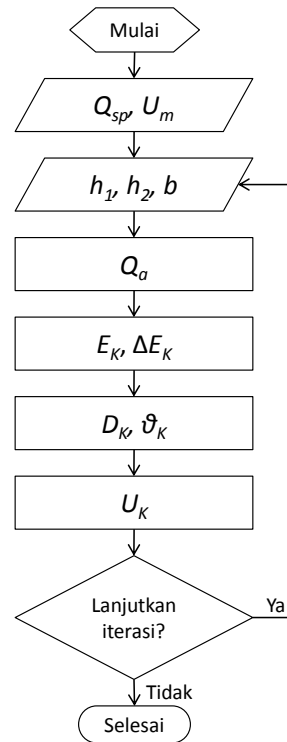
Gambar 3 Fungsi keanggotaan sudut fasa dan magnitudo

Berdasarkan kedua fungsi keanggotaan tersebut diatas dapat diturunkan sinyal kendali  $U_k$  seperti pada persamaan 3.

$$U_k = (1 - 2\mu_N)\mu_D U_m \dots\dots\dots (3)$$

$U_m$  adalah nilai maksimum sinyal kendali yang nilainya bersesuaian dengan spesifikasi dari aktuator yang digunakan.

Sistem mekanik dalam prototipe pintu air mempunyai spesifikasi teknis kecepatan gerak tertentu. Kecepatan operasi ini dalam pengendalian fazi merepresentasikan parameter  $U_m$ . Bukaan pintu ( $b$ ), tinggi muka air di hulu ( $h_1$ ) dan hilir pintu ( $h_2$ ) diukur dengan menggunakan sensor tinggi air untuk menghitung debit aliran. Diagram alir pengendalian prototipe ini adalah seperti pada Gambar 4.



Gambar 4 Diagram alir pengendalian pintu sorong

Parameter yang dikontrol dalam pengendalian ini adalah debit aliran ( $Q$ ). Dengan demikian, error ( $E_K$ ) dan laju error ( $\Delta E_K$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 4 dan 5.

$$E_{K_i} = Q_{sp_i} - Q_{a_i} \dots\dots\dots (4)$$

$$\Delta E_{K_i} = E_{K_i} - E_{K_{i-1}} \dots\dots\dots (5)$$

$Q_{sp}$  adalah debit yang dikehendaki (*set point*) dan  $Q_a$  adalah debit hasil pengendalian.

### 3.3. Simulasi Pengendalian

Respon sistem disimulasikan dengan menggunakan persamaan debit pintu sorong berdasarkan persamaan debit dan koefisien pengaliran ( $C_d$ ) yang dikembangkan oleh Lin *et.al.* (2002) seperti pada persamaan 6 sampai dengan 11.

$$Q = C_d l b \sqrt{2gh_1} \dots\dots\dots (6)$$

Dimana :

- $C_d$  : koefisien pengaliran;
- $b$  : bukaan pintu (m);
- $l$  : lebar saluran (m);
- $g$  : percepatan gravitasi (9,81 m/det<sup>2</sup>);
- $h_1$  : tinggi aliran di hulu pintu (m);
- $Q$  : debit aliran (m<sup>3</sup>/det).

Koefisien pengaliran ( $C_d$ ) pada aliran sempurna (*free flow*) dihitung berdasarkan persamaan 7.

$$C_d = \frac{C_c}{\sqrt{1+\eta}} \dots\dots\dots (7)$$

Koefisien pengaliran pada aliran tidak sempurna (*submerged flow*) dihitung berdasarkan persamaan 8.

$$C_d = C_c \frac{\left( \xi - \sqrt{\xi^2 - \left( \frac{1}{\eta^2} - 1 \right) \left( 1 - \frac{1}{\lambda^2} \right)} \right)^{\frac{1}{2}}}{\sqrt{1+\eta}} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana :

- $C_c$  : koefisien kontraksi;
- $b$  : bukaan pintu (m);
- $h_1$  : tinggi aliran di hulu pintu (m);
- $h_2$  : tinggi aliran di hilir pintu (m);

$\lambda, \xi, \eta$  dihitung menggunakan persamaan 9 sampai dengan 11.

$$\lambda = \frac{h_u}{h_i} \dots\dots\dots (9)$$

$$\eta = \frac{C_c b}{h_u} \dots\dots\dots (10)$$

$$\xi = \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right)^2 + 2 \left( \frac{1}{\eta} - 1 \right) \dots\dots\dots (11)$$

Simulasi dilakukan pada beberapa skenario fluktuasi tinggi air di hulu sebagai berikut:

1. Skenario 1: simulasi pada aliran sempurna dengan  $h_1$  99-129 cm berfluktuasi -10,8 hingga 18,8 cm dari rata-rata
2. Skenario 2: simulasi pada aliran sempurna dengan tinggi  $h_1$  lebih rendah yaitu 29-59 cm pada pola fluktuasi yang sama dengan skenario 1
3. Skenario 3: simulasi pada aliran sempurna dan tidak sempurna dengan  $h_1$  99-129 cm berfluktuasi -10,8 hingga 18,8 cm dari rata-rata.  $h_2$  disimulasikan meningkat sampai akhir simulasi.

Iterasi dalam setiap skenario dilakukan dalam interval waktu 5 menit dengan  $U_m$  1 cm/menit.

Optimasi parameter kendali fazi ( $f_1$  dan  $f_2$ ) dilakukan untuk meminimalisasi rata-rata persentase perbedaan absolut (*Mean Absolute Percentage Error/MAPE*) antara debit yang dikehendaki dan debit hasil simulasi. Persamaan dan metode optimasi mengacu pada yang dilakukan oleh Tusi dkk. (2010), yaitu dengan menggunakan bantuan add-in Solver dalam program Microsoft Office Excell. *MAPE* (%) dihitung menggunakan persamaan 12.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Q_{ai} - Q_{spi}|}{Q_{spi}} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana :

- $Q_{sp}$  : debit yang dikehendaki/set point (m<sup>3</sup>/det);
- $Q_a$  : debit hasil simulasi (m<sup>3</sup>/det);
- $n$  : jumlah data simulasi.

Performa pengendalian dihitung berdasarkan parameter *DPR* (*Delivery Performance Ratio*) berdasarkan metode yang digunakan Bos *et.al.*(2005). Persamaan yang digunakan adalah seperti pada persamaan 13.

$$DPR = \frac{Q_a}{Q_{sp}} \dots\dots\dots (13)$$

*DPR* dinyatakan cukup baik bila berkisar di antara 0,9-1,15, dinyatakan berlebih apabila lebih dari 1,15 dan dinyatakan kurang apabila kurang dari 0,9.

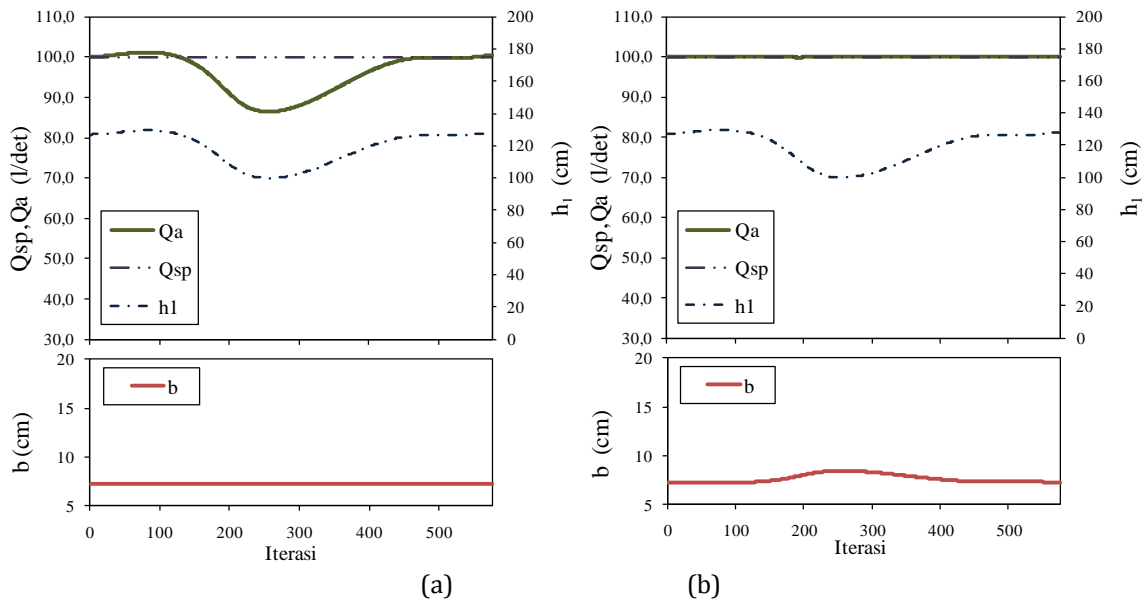
### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan dengan data fluktuasi tinggi muka air di saluran sekunder seperti yang terdapat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Dari hasil optimasi yang dilakukan, nilai  $f_1$  dan  $f_2$  optimum adalah 0,5 dan 31.

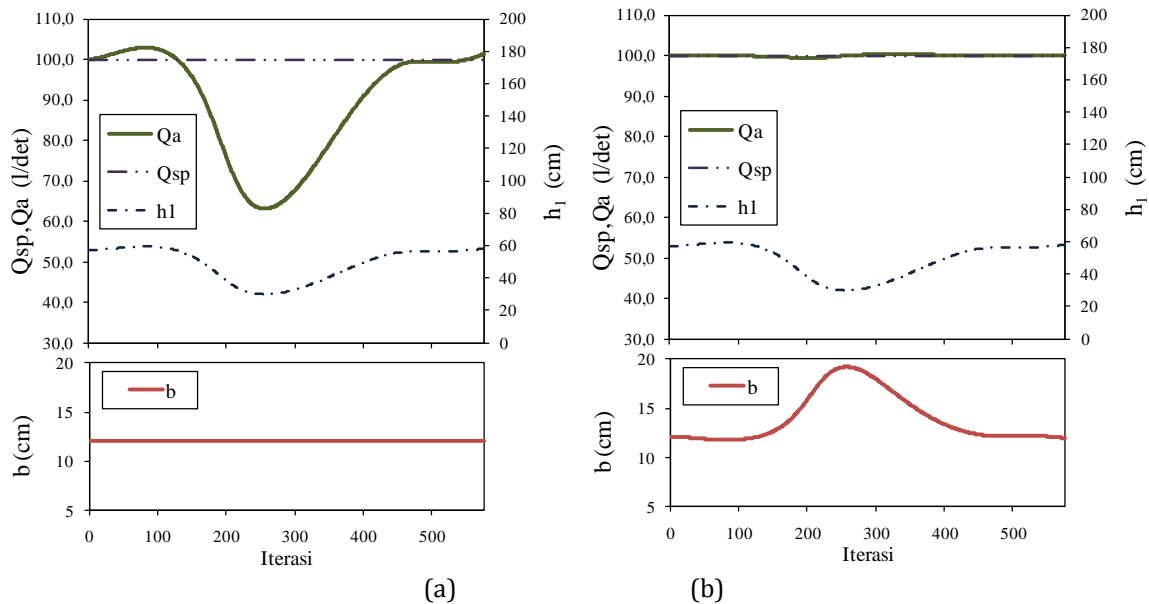
Pengendalian fazi dapat mengurangi tingkat kesalahan secara signifikan. Tanpa pengendalian fazi, pintu air dibuka tetap pada ketinggian 7,3 cm. Hasil simulasi menunjukkan bahwa fluktuasi debit yang masuk ke tersier ( $Q_a$ ) maksimum mencapai 13,5%. Dalam hal ini, rata-rata penyimpangan debit mencapai 4,4%. Apabila bukaan pintu air dikendalikan dengan logika fazi, maka debit yang masuk ke tersier dapat lebih stabil. Hasil pengendalian pada Gambar 3 menunjukkan bahwa debit dapat dikendalikan sehingga stabil pada nilai yang dikehendaki. Bukaan pintu berubah-ubah di antara 7,2–8,4 cm. Tingkat penyimpangan debit setelah pengendalian maksimum mencapai 0,1%. Dalam persamaan debit pintu sorong, hubungan debit dan tinggi air berupa persamaan akar kuadrat. Dengan demikian, pada muka air yang cukup tinggi, fluktuasi debit yang dihasilkan tidak akan terlalu berbeda nyata. Namun demikian pada tinggi muka air yang rendah dengan pola

fluktuasi yang sama, fluktuasi debit yang dihasilkan cukup besar. Hasil pengendalian fazi pada tinggi muka air yang lebih rendah terdapat pada Gambar 6. Pada pola fluktuasi muka air yang sama, penyimpangan debit yang terjadi lebih besar dibandingkan dengan simulasi pada Gambar 3. Tanpa pengendalian, penyimpangan debit maksimum mencapai 36,9%. Dengan dilakukannya pengendalian fazi, maka penyimpangan yang terjadi lebih rendah yaitu maksimum hingga 0,6%.

Kedua simulasi tersebut di atas dilakukan pada kondisi aliran bebas dimana kondisi muka air di hilir pintu ( $h_2$ ) tidak mempengaruhi aliran. Namun demikian, kondisi ini jarang ditemui di lapangan. Pada saat debit rendah, petani cenderung membendung saluran agar muka air di saluran tersier/kwarter lebih tinggi dari inlet lahan. Pembendungan ini dapat mengakibatkan naiknya tinggi muka air di hilir pintu sadap.



**Gambar 5** Hasil simulasi skenario 1: (a) tanpa pengendalian fazi dan (b) dengan pengendalian fazi

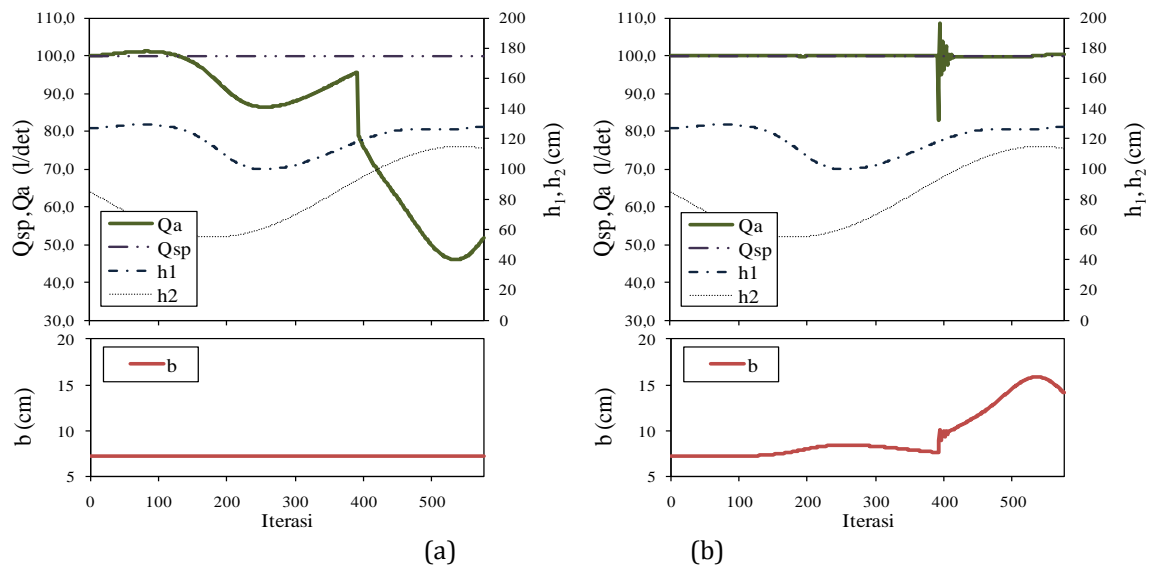


**Gambar 6** Hasil simulasi skenario 2: (a) tanpa pengendalian fazi dan (b) dengan pengendalian fazi

Kondisi ini disimulasikan pada skenario 3 seperti pada Gambar 5. Dalam simulasi ini, tinggi muka air di hulu ( $h_a$ ) sama dengan simulasi pada skenario 1. Tinggi muka air di hilir dibuat berfluktuasi meningkat pada akhir simulasi.

Perubahan dari aliran sempurna ke aliran tidak sempurna menyebabkan debit yang mengalir berubah secara drastis. Dengan demikian terjadi penyimpangan debit yang besar yaitu mencapai

maksimum 54%. Pengendalian fazi dalam hal ini dapat menstabilkan debit yang mengalir sehingga penyimpangan debit hanya mencapai maksimum 17%. Walaupun demikian pada saat terjadi perubahan jenis aliran dari aliran sempurna ke aliran tidak sempurna, sistem kendali mengalami ketidakstabilan sehingga debit berfluktuasi cukup cepat. Sistem kembali stabil setelah 24 iterasi.



**Gambar 7** Hasil simulasi skenario 3: (a) tanpa pengendalian fazi dan (b) dengan pengendalian fazi

**Tabel 1** Performa pengendalian pada setiap skenario

Nilai	Skenario 1				Skenario 2				Skenario 3			
	Tanpa pengendalian		Kendali Fazi		Tanpa pengendalian		Kendali Fazi		Tanpa pengendalian		Kendali Fazi	
	MAPE (%)	DPR	MAPE (%)	DPR	MAPE (%)	DPR	MAPE (%)	DPR	MAPE (%)	DPR	MAPE (%)	DPR
Minimum	-	0,86	-	1,00	-	0,63	-	0,99	-	0,46	-	0,83
Maksimum	-	1,01	-	1,00	-	1,03	-	1,00	-	1,01	-	1,09
Rata-rata	4,4	0,96	0,0	1,00	11,7	0,89	0,2	1,00	18,0	0,82	0,2	1,00

Berdasarkan hasil tersebut diatas, performa pengendalian dari ketiga skenario yang telah disimulasikan terangkum dalam Tabel 1. Pada setiap skenario, pengendalian fazi dapat menstabilkan debit yang mengalir. *DPR* rata-rata yang didapatkan berada pada kondisi cukup untuk setiap skenario. Apabila tidak dilakukan pengendalian, maka *DPR* rata-rata terkecil yang didapatkan mencapai 0,82 pada skenario 3 saat terjadi perubahan jenis aliran dari aliran sempurna ke aliran tidak sempurna. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa kendali fazi sederhana dapat diaplikasikan untuk pengaturan debit secara otomatis di pintu sadap tersier.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

1. Sistem fazi sederhana menunjukkan performa yang baik dalam pengendalian debit di ketiga skenario pengendalian.
2. Tanpa pengendalian bukaan secara intensif, debit masuk pintu sorong berfluktuasi cukup tinggi seiring dengan fluktuasi tinggi muka air di saluran terutama apabila terjadi perubahan jenis aliran dari aliran sempurna ke aliran tidak sempurna.
3. Kinerja pengendalian sangat dipengaruhi oleh besarnya fluktuasi tinggi muka air di saluran.
4. *DPR* rata-rata yang didapatkan pada ketiga skenario bernilai 1,00. Dengan demikian, metode ini cukup layak digunakan untuk mengendalikan pengaturan debit di pintu sadap tersier.

### 5.2. Saran

Sistem kendali fazi sederhana perlu diuji coba dalam bentuk prototipe di laboratorium sebelum diaplikasikan di lapangan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Bos, M.G., M.A. Burton and D.J. Molden. 2005. Irrigation and Drainage Performance Assessment : Practical Guidelines. CABI Publishing. London, UK.
- Direktorat Irigasi. 2010. Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi Bagian Bangunan: KP-04 (Revisi 2010). Direktorat Irigasi, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Horst, L. 1996. Irrigation Water Division Technology in Indonesia - A Case of Ambivalent Development. Wageningen Agricultural University, Department of Irrigation & Soil & Water Conservation, International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Iskandar, M.A., Y. Susanti, S.K. Saptomo, B.I. Setiawan. 1997. Pengendalian Muka Air Tanah Menggunakan Sistem Kendali Fazi Sederhana. Buletin Keteknikan Pertanian, 13 (3): pp 66-74.
- Lin, C.H., J.F. Yen and C.T. Tsai. 2002. Influence of Sluice Gate Contraction Coefficient on Distinguishing Condition. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 128(4): pp 249-252.
- Saptomo, S.K., B.I. Setiawan and Y. Nakano. 2004. Water regulation in tidal agriculture using wetland water level control simulator. The CIGR Journal of Scientific Research and Development. Manuscript LW 03 001.
- Setiawan, B.I, Y. Sato, S.K. Saptomo and E. Saleh. 2001b. Development of Water Control for Tropical Wetland Agriculture. International Conference Sustainable Soil Management For Environmental Protection - Soil Physical Aspect. Firenze 2-7 July 2001.



Setiawan, B.I, Y. Sato, S.K. Saptomo and E. Saleh. 2002. Development of Water Control for Tropical Wetland Agriculture. *Advances in GeoEcology* No. 35, pp 259-266, Catena Verl., Reikirchen, Germany.

Setiawan, B.I., S.K. Saptomo and R.S.B. Santoso. 2001a. A model for controlling groundwater in tidal wetland agricultures. 2nd IFAC-CIGR Workshop on Intelligent

Control for Agricultural Applications. Bali, 22-24 August 2001. pp 185-189.

Tusi, A., B.I. Setiawan, M. Amron and H.A. Sofiyuddin. 2010. Development of Fiberglass Water Gate Operation Model. Paper on The 6th Asian Regional Conference of International Comission on Irrigation and Drainage. Yogyakarta, 11-16 October 2010: ICID.