

# MODEL SIMULASI PENGENDALIAN SUHU AIR UNTUK PEMBENIHAN IKAN PATIN (*Pangasius sp.*)

Rudiyanto<sup>1†</sup>, Budi I. Setiawan<sup>1‡</sup> dan Leopold O. Nelwan<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Teknik Pengendalian Bio-lingkungan, FATETA-IPB, PO BOX 220 Bogor 16002.

Email: <sup>†</sup> [lupusae@yahoo.com](mailto:lupusae@yahoo.com) dan <sup>‡</sup> [budindra@ipb.ac.id](mailto:budindra@ipb.ac.id)

<sup>2</sup> Energi dan Listrik Pertanian, FATETA-IPB

✓✓

## ABSTRAK

Makalah ini menjelaskan tentang model simulasi pengendalian suhu air untuk pembenihan ikan patin (*Pangasius sp.*) pada sistem resirkulasi tertutup dengan logika fuzzy. Model matematika dibuat berdasarkan keseimbangan energi pindah panas dan massa. Persamaan model diselesaikan secara numerik dengan metode *finite difference* Euler implisit dan dipecahkan secara simultan dengan metode Gaus Jordan. Simulasi dilakukan untuk memprediksi dan mengendalikan suhu air pada sistem resirkulasi tertutup. Hasil verifikasi model menunjukkan bahwa model yang dibuat mampu memprediksi suhu air bak pembenihan. Simulasi pengendalian suhu pada sistem resirkulasi menunjukkan bahwa sistem kendali logika fuzzy mampu mengendalikan suhu air pembenihan ikan patin pada suhu setpoint (30 °C) dengan baik.

**Kata kunci:** pembenihan ikan patin, sistem resirkulasi tertutup, pengendalian suhu, logika fuzzy.

Makalah diterima [27 Agustus 2002]. Revisi akhir [15 Oktober 2002].

## 1. PENDAHULUAN

Penyusunan model dan simulasi merupakan bagian penting dari desain suatu proses. Pemodelan dimaksudkan untuk meniru dari suatu sistem sebenarnya [1]. Model yang dibuat biasanya dalam bentuk persamaan matematika. Simulasi model dilakukan karena beberapa alasan misalnya, biaya yang terlalu besar untuk membuat sistem nyata atau belum tersedianya bentuk nyata karena masih dalam perancangan, untuk menganalisis dan identifikasi pola hubungan input-output, menyusun suatu strategi optimal dalam sistem pengendalian dan mengidentifikasi kondisi-kondisi yang dapat diterima.

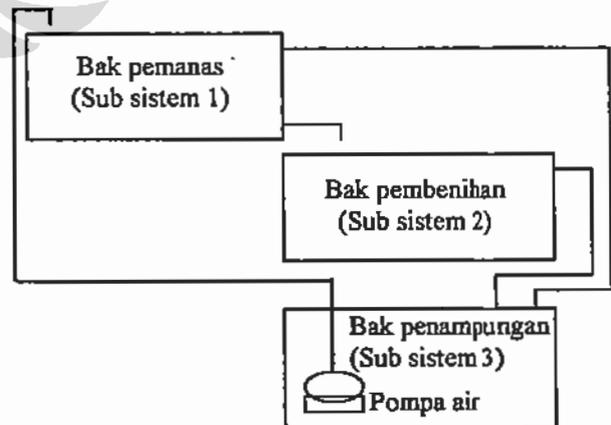
Dalam dunia perikanan dan jasa boga, ikan patin dikenal sebagai komoditi yang berprospek cerah. Budidaya ikan patin dilakukan dalam dua kegiatan, yaitu

kegiatan pembenihan dan pembesaran. Pembenihan dilakukan untuk memperbesar ukuran ikan patin dari 0.5-0.1 inci menjadi 2.0-4.0 inci yang siap ditebar ke kolam pembesaran ataupun jala apung.

Saat ini pembenihan ikan patin dilakukan dalam akuarium dengan pemanas berupa kompor minyak tanah [2]. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan suhu air pembenihan ikan patin sekitar 28-29 °C, suhu yang optimal untuk pertumbuhan benih ikan patin [3]. Dengan digunakannya kompor minyak tanah sebagai pemanas menimbulkan beberapa kerugian dalam pembenihan ikan patin. Disamping suhu air sulit stabil juga menimbulkan dampak buruk yaitu sisa-sisa pembakaran dan asap mengganggu pertumbuhan benih ikan patin, tingginya mortalitas/kematian benih ikan patin serta mengganggu kesehatan manusia (pekerja di pembenihan ikan patin).

Penelitian ini bertujuan untuk menyusun model keseimbangan energi dan massa pada sistem resirkulasi tertutup, melakukan simulasi dan verifikasi terhadap model yang telah disusun dan simulasi pengendalian suhu air untuk pembenihan ikan patin dengan logika fuzzy.

## 2. PENDEKATAN TEORITIS



Gambar 1. Skema sistem resirkulasi untuk pembenihan ikan patin

Model sistem yang digunakan untuk pembenihan ikan patin adalah sistem resirkulasi tertutup, yang terdiri bak pemanas, bak pembenihan dan bak penampungan. Skema sistem resirkulasi tertutup dapat dilihat pada Gambar 1.

Karakteristik suhu air pada masing-masing bak didekati dengan persamaan/model matematika berdasarkan keseimbangan energi pindah panas dan massa. Keseimbangan energi secara teoritis yang terjadi mengikuti kaidah berikut, yaitu perubahan energi per satuan waktu adalah selisih dari jumlah energi yang masuk dengan yang keluar. Persamaan-persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

a. suhu air bak pemanas

$$(mCp)_{s1} \frac{dT_{a1}}{dt} = m_1 C_{p_a} (T_{a3} - T_{a1}) + Q_h - hA_{ps1} (T_{a1} - T_l) - (UA)_{ds1} (T_{a1} - T_l) - (UA)_{as1} (T_{a1} - T_l) - m_u h_{fg} \dots (1)$$

b. suhu air bak pembenihan

$$(mCp)_{s2} \frac{dT_{a2}}{dt} = m_2 C_{p_a} (T_{a1} - T_{a2}) - hA_{ps2} (T_{a2} - T_l) - (UA)_{ds1} (T_{a1} - T_l) - (UA)_{as1} (T_{a1} - T_l) - m_u h_{fg} \dots (2)$$

c. suhu air bak penampungan

$$(mCp)_{s3} \frac{dT_{a3}}{dt} = m_3 C_{p_a} (T_{a2} - T_{a3}) + m_4 C_{p_a} (T_{a1} - T_{a3}) - (UA)_{ds3} (T_{a3} - T_l) - (UA)_{as3} (T_{a3} - T_l) - hA_{ps3} (T_{a3} - T_l) - m_u h_{fg} \dots (3)$$

### 3. STRATEGI PENGENDALIAN

Untuk mengendalikan suhu air pada sistem resirkulasi tertutup dilakukan dengan mengatur jumlah pemanas yang beroperasi (on) berdasarkan error dan perubahan error. Error dan perubahan error tersebut merupakan input kendali logika fuzzy [4]. Output kendali logika fuzzy berupa jumlah pemanas yang harus dioperasikan. Error merupakan selisih antara suhu aktual dengan suhu setpoint. Perubahan error merupakan selisih error saat waktu t dengan error saat waktu t-Δt.

Fungsi keanggotaan input yang dipakai adalah fungsi keanggotaan sinusoidal dan fungsi keanggotaan output yang dipakai adalah fungsi keanggotaan segitiga. Sekitar 50 % overlap dalam fungsi keanggotaan input dari semua fuzzy set yang digunakan agar hanya dua fuzzy set yang memiliki derajat fungsi keanggotaan non-zero. Nilai input dibagi menjadi 7 nilai label, yaitu NB, NS, NK, ZO, PK, PS, dan PB. Nilai output dibagi menjadi 9 nilai label, yaitu NSB, NB, NS, NK, ZO, PK, PS, PB dan PSB.

Fungsi keanggotaan input dipakai untuk fuzzifikasi, yaitu proses mengubah nilai input ke dalam fuzzy set yang berupa derajat keanggotaan dan nilai label. Derajat keanggotaan error dan perubahan error secara matematika dirumuskan sebagai berikut:

$$\mu_x(E) = (1 + \sin(x2\pi/k) - 0.5\pi)/2 \dots (4)$$

$$\mu_x(E) = (1 + \cos(x2\pi/k))/2 \dots (5)$$

Fungsi keanggotaan output dipakai untuk defuzzifikasi, yaitu proses untuk merubah dari fuzzy set ke nilai output (numerik).

Aturan kendali fuzzy yang dibuat berdasarkan pengalaman dalam bentuk JIKA-MAKA. Aturan yang dipakai dalam penelitian ini berjumlah 49 aturan. Aturan kendali logika fuzzy dalam bentuk matrik pengambilan keputusan dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Matrik pengambilan keputusan kendali logika fuzzy.

		dError						
		NB	NS	NK	ZO	PK	PS	PB
E	NB	1	1	1	0.75	0.5	0.25	0
	NS	1	1	0.75	0.5	0.25	0	-0.25
r	NK	1	0.75	0.5	0.25	0	-0.25	-0.5
	ZO	0.75	0.5	0.25	0	-0.25	-0.5	-0.75
o	PK	0.5	0.25	0	-0.25	-0.5	-0.75	-1
	PS	0.25	0	-0.25	-0.5	-0.75	-1	-1
r	PB	0	-0.25	-0.5	-0.75	-1	-1	-1

Keluaran inferensi kendali logika fuzzy terdiri dari beberapa nilai label dengan derajat keanggotaan tertentu. Metode defuzzifikasi yang digunakan untuk menggabungkan nilai-nilai tersebut dilakukan dengan metode COA (Center of Area), yang secara matematika dirumuskan dalam persamaan berikut:

$$U = \frac{\sum w_i u_i}{\sum w_i} \dots (6)$$

Untuk mengoptimalkan pengendalian dilakukan penentuan nilai skala/pengali error, perubahan error dan variabel kendali (output), jumlah pemanas dan besarnya daya setiap pemanas yang digunakan, dan suhu awal air sistem resirkulasi agar kriteria unjuk kerja pengendalian dapat terpenuhi. Kriteria unjuk kerja pengendalian

meliputi tidak terjadi lewatan (*overshot*), waktu mantap (*time setting*) dan *Root Mean Square Error* (RMSE) yang minimum.

## 4. METODOLOGI PENELITIAN

### 4.1. Bahan dan Alat

1. Seperangkat sistem resirkulasi  
Bahan dan alat yang digunakan adalah besi siku 40 mm x 40 mm, triplek, cat, pipa paralon, stop kran, selang plastik, pompa air, akuarium dan air. Sistem resirkulasi terdiri dari: 1). Bak pemanas berfungsi untuk mensuplai air ke bak pembenihan dengan suhu yang diinginkan. 2). Bak pembenihan berfungsi sebagai tempat pembenihan ikan patin. Bak pembenihan ini berjumlah 3 buah. 3). Bak penampungan berfungsi untuk menampung air buangan dari bak pembenihan. Air dari bak penampungan kemudian dipompa lagi ke bak pemanas. Masing-masing bak berukuran 90 cm x 40 cm x 35 cm.
2. Sistem akuisisi data dan kalibrasi  
Bahan dan alat yang digunakan terdiri dari: 1). Termokopel CC berfungsi sebagai sensor suhu. 2). Hybrid Recorder merek Yokogawa model 3081 berfungsi untuk merekam suhu air sistem resirkulasi setiap 30 menit. 3). Gelas ukur dan stop watch berfungsi untuk mengukur debit air. 4). Oil bath dan termometer standar berfungsi untuk kalibrasi termokopel. 5). Thermal conductivity meter merek kemtherm berfungsi untuk mengukur konduktivitas panas kaca bahan akuarium/bak pada sistem resirkulasi.

### 4.2. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan pada bulan Maret-Juli 2002. Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Ergonomika dan Elektronika, Jurusan Teknik Pertanian FATETA IPB, Bogor.

### 4.3. Program Komputer

Simulasi model keseimbangan energi pindah panas dan massa digunakan untuk menduga perubahan suhu air dan pengendalian suhu air sistem resirkulasi. Simulasi dilakukan dengan memecahkan persamaan diferensial pada persamaan 1,2 dan 3 diatas secara numerik dengan metode *finite difference* Euler implisit dan dipecahkan secara simultan dengan metode Gaus Jordan.

Program simulasi ditulis dalam bahasa pemrograman Borland Delphi 6.0. Program simulasi dibagi menjadi 3 bagian, yaitu : 1). Prosedur untuk mempresentasikan

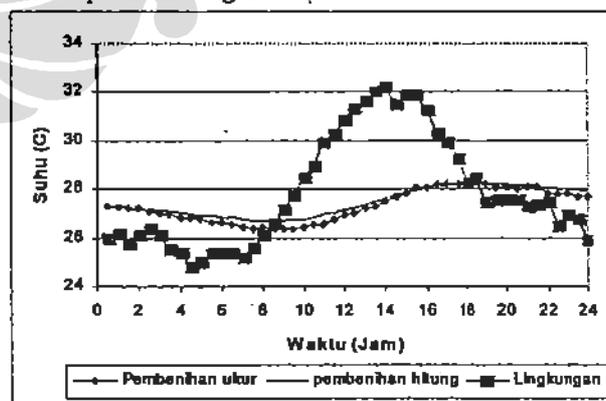
suhu lingkungan. 2). Prosedur untuk memprediksi suhu air sistem resirkulasi dan 3). Prosedur untuk pengendalian logika fuzzy. Form program simulasi secara visual dibuat dalam 5 form. Form utama berisi tampilan pilihan skenario pengendalian, grafik suhu, table hasil simulasi dan penyimpanan data. Form kedua berisi input data kondisi sistem. Form ketiga berisi tampilan skema system resirkulasi. Form keempat berisi tampilan grafik error terhadap waktu, grafik perubahan error terhadap waktu dan grafik hubungan error dengan perubahan error. Form kelima berisi grafik jumlah pemanas yang dioperasikan, besarnya daya dan akumulasi energi yang dibutuhkan selama pengendalian 24 jam.

## 5. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 5.1. Pendugaan Suhu Air dan Hasil Verifikasi

Hasil pengukuran suhu lingkungan dan suhu air bak pembenihan serta hasil simulasi pendugaan suhu air bak pembenihan tanpa kendali selama 24 jam dapat dilihat pada Gambar 2. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa fluktuasi suhu air dipengaruhi oleh perubahan suhu lingkungan. Pada 8.00-18.00 suhu udara berada di atas suhu air dan pada 18.00-8.00 suhu air berada diatas suhu udara.

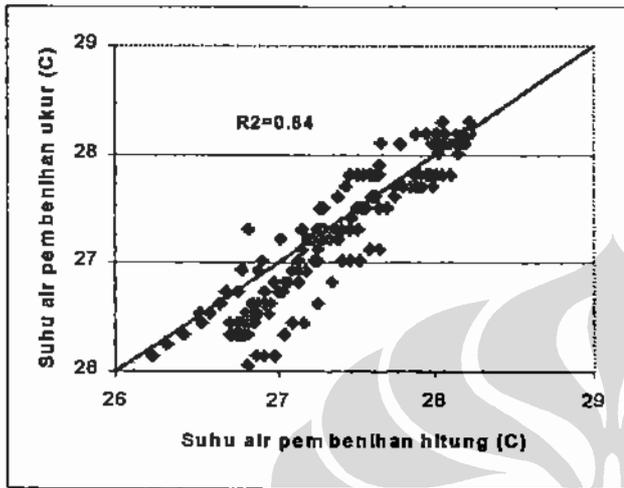
Fluktuasi suhu udara lebih besar dari pada suhu air. Dari pengukuran yang dilakukan suhu udara berkisar antara 24-32 °C sedangkan suhu air berkisar 26-28 °C. Hal ini disebabkan panas jenis air yang lebih besar, sehingga air merupakan media penyimpan panas yang baik daripada udara. Suhu udara akan naik dan turun lebih cepat dibandingkan suhu air.



Gambar 2. Suhu air bak pembenihan hasil perhitungan dan pengukuran.

Simulasi yang dilakukan untuk memprediksi suhu air bak pembenihan mampu dengan baik dilakukan oleh

model. Hal ini terlihat dari koefisien determinasi yang diperoleh sebesar 0.84. Ini berarti model yang dibuat mampu memprediksi suhu air bak pembenihan. Plot sebaran suhu air bak pembenihan hasil pengukuran dan perhitungan tertera pada Gambar 3 dimana sebaran plot suhu merata di 45°.



Gambar 3. Perbandingan suhu air pembenihan hasil perhitungan dengan pengukurn.

## 5.2. Simulasi Pengendalian Suhu Air

Tabel 2. Hubungan skenario pengendalian dengan parameter unjuk kerja.

Mulai Pengendalian	Skenario		Parameter Unjuk Kerja		
	Daya Perpermanas (watt)	Jumlah pemanas	Over-shoot	Time Setting (Jam)	RMSE
Jam 7 pagi	50	10	X	8.06	1.322
	100	5	X	5.52	1.079
	250	2	X	5.5	1.082
	500	1	X	5.49	1.086
Jam 7 malam	50	10	X	7.35	0.678
	100	5	X	3.61	0.542
	250	2	X	3.57	0.549
	500	1	X	3.55	0.552

X=tidak terjadi lewatan(Overshoot)

Simulasi pengendalian suhu air bak pembenihan dilakukan dengan beberapa skenario untuk mendapatkan pengendalian yang optimal, yaitu dengan terpenuhinya parameter unjuk kerja pengendalian. Pengendalian dilakukan pada suhu set point sebesar 30 °C dengan skala error, perubahan error dan output kendali logika fuzzy berturut-turut adalah 0.1, 0.1 dan 10. Sedangkan untuk waktu pengendalian dimulai jam 7 pagi saat suhu air bak pembenihan jauh dari suhu set point dan jam 7 malam saat suhu air bak pembenihan lebih dekat dengan setpoint. Hasil pengendalian secara tabulasi dari

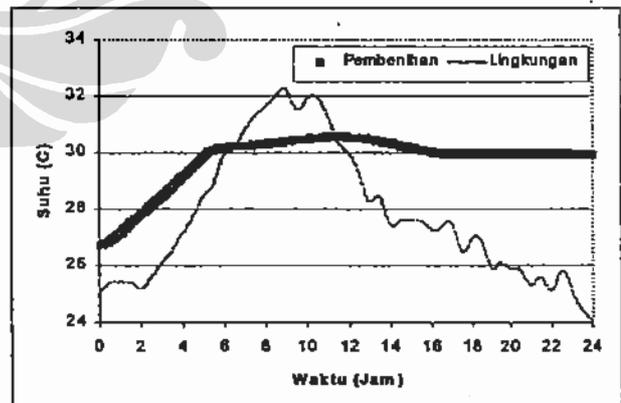
beberapa skenario yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 3. Hubungan skenario pengendalian dengan parameter unjuk kerja.

Mulai	Skenario		Parameter Unjuk Kerja		
	Daya Perpermanas (watt)	Jumlah Pemanas	Suhu rata (C)	Energi Selama transient (kwh)	Energi total 24 jam (kwh)
Jam 7 pagi	50	10	29.39	2.365	3.610
	100	5	29.71	2.689	3.895
	250	2	29.74	2.711	3.959
	500	1	29.75	2.726	3.981
Jam 7 malam	50	10	29.78	1.998	3.109
	100	5	29.90	1.716	3.208
	250	2	29.95	1.742	3.270
	500	1	29.96	1.758	3.286

Tabel 2 dan 3 memperlihatkan bahwa waktu dimulainya pengendalian mempunyai peran yang sangat penting. Dari semua parameter unjuk kerja pengendalian yang dimulai jam 7 malam memperlihatkan hasil yang lebih baik. Time setting dan RMSE mempunyai perbedaan hampir 2 kali. Bahkan dari pemakaian energi untuk pengendalian selama 24 jam menunjukkan pengendalian yang dimulai jam 7 malam lebih baik dari jam 7 pagi.

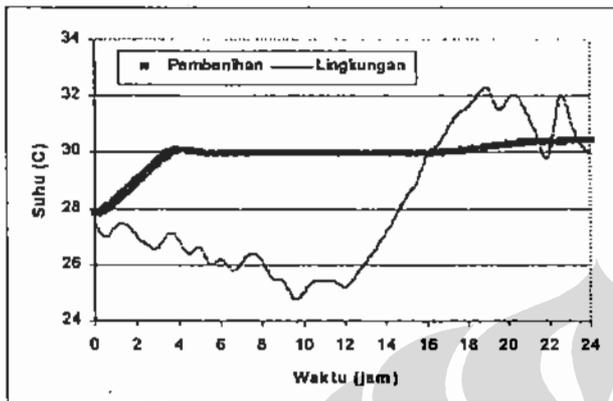
Dari beberapa skenario yang dilakukan pada pengendalian yang dimulai jam 7 malam, bahwa pengendalian dengan 5 pemanas, dengan daya masing-masing 100 watt menunjukkan hasil pengendalian yang lebih baik. Hal ini dapat dilihat dari nilai RMSE yang paling minimal. Walaupun dari segi time setting bukanlah yang minimal.



Gambar 4. Suhu air pembenihan dan lingkungan selama pengendalian untuk pengendalian mulai jam 7 pagi.

Grafik pengendalian suhu air bak pembenihan yang pengendaliannya dimulai jam 7 pagi dengan menggunakan 5 pemanas dengan daya setiap pemanas

100 watt dapat dilihat pada Gambar 4 dan untuk grafik pengendalian suhu air bak pembenihan yang pengendaliannya dimulai jam 7 malam dengan menggunakan 5 pemanas dengan daya setiap pemanas 100 watt dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik suhu air pembenihan dan lingkungan selama pengendalian untuk pengendalian jam 7 malam.

Pada kedua grafik diatas terlihat bahwa terjadi gangguan selama suhu udara lebih besar dari pada suhu air bak pembenihan/setpoint. Sehingga terjadi lewatan sekitar 0.4 °C diatas suhu setpoint (30 °C). Hal ini disebabkan suhu air bak pembenihan sudah berada di suhu setpoint harus menerima panas dari lingkungan. Sedangkan selama suhu udara berada di bawah suhu air bak pembenihan pengendalian akan berjalan dengan baik.

## 6. KESIMPULAN

Model simulasi yang dikembangkan mampu memprediksi dan mengendalikan suhu air khususnya di dalam bak pembenihan. Pengendalian suhu air dalam bak pembenihan berhasil dengan baik bila mulai beroperasi pada jam 7 malam, dimana kondisi suhu stabil dapat dicapai dalam 4 (empat) jam kemudian.

## REFERENSI

- [1] W.F. Stoecker, *Design of Thermal System, Third Edition*, Singapore; Mc Graw Hill, Inc., 1989.
- [2] A. Rahmat, *Aplikasi Singlechip Microcomputer Sebagai Pengontrol Suhu Ruang Otomatis (Autothermo) Untuk Stabilisasi Suhu Air Untuk Pembenihan Ikan Patin (Pangasius sp.)*, Jurusan Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK IPB, Bogor, 2001.

- [3] A.S. Djarijah, *Budi Daya Ikan Patin*, Yogyakarta; Penerbit Kanisius, 2001.
- [4] J. Yan, M. Ryan and J. Power, *Using Fuzzy Logic*, The University Press, Cambridge; Prentice Hall International (UK) Limited, 1994.

## DAFTAR SIMBOL

- $m_{123}$  = Massa sub system 1,2, 3 (kg)
- 
- $m_{1234}$  = Laju aliran massa 1,2, 3, 4 (kg/jam)
- $Cp_{123}$  = Panas jenis sub system 1,2, 3 (watt jam/kg °C)
- $Cp_a$  = panas jenis air (watt jam/kg °C)
- $Ta_{123}$  = Suhu sub system 1,2, 3 (°C)
- $Tl$  = Suhu lingkungan (°C)
- $h$  = Koefisien konveksi air-udara (watt/m<sup>2</sup>°C)
- $U_{ds123}$  = Overall U dinding sub sistem 1,2, 3(watt/m<sup>2</sup>°C)
- $U_{as123}$  = Overall U alas sub sistem 1,2, 3(watt/m<sup>2</sup>°C)
- $A_{ps123}$  = Luas permukaan air-udara sub sistem 1,2, 3(m<sup>2</sup>)
- $A_{as123}$  = Luas alas sub sistem 1,2, 3 (m<sup>2</sup>)
- $A_{ds123}$  = Luas dinding sub sistem 1,2, 3 (m<sup>2</sup>)
- 
- $m_u$  = Laju penguapan (kg/jam)
- $h_{fg}$  = Panas laten penguapan (watt jam/kg)
- $q_h$  = Daya pemanas (watt)
- $\mu$  = Derajat keanggotaan input
- $k$  = Faktor skala input