

MODEL SIMULASI PENGENDALIAN SUHU UDARA PADA MESIN PENGERING CABE DENGAN KONTROL LOGIKA FUZZY

Bambang Dwi Argo¹⁾ dan Cicik Rahayu²⁾ .

- 1) Staf Pengajar Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya
- 2) Alumni Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya

Abstract

The experiment is aimed to develop a model to control the air temperature of drying chamber during drying of Chilli using Logical Fuzzy Control (LFC). The temperature characteristic of three dryer subsystem, namely the drying chamber, the commodity (chilli), and the heater, is predicted by a mathematical models based on heat and mass balances. Mathematical model obtained were then solved by numerical analysis using a Finite Different Euler Method, followed by simultaneous solution by a method of Gauss Jordan. Borland Delphi 5.0 program and Celeron 566 MHz and RAM 256 MB processor was used to make a simulation program.

The control of drying chamber temperature is carried out by adjustment of the energy given to the heater. The degree of deviation to the set temperature of the drying chamber and the corrected value were then used as inputs to LFC. As an output of the LFC is the amount of energy supplied to the heater. The input was divided into three groups of set i.e. 3.5 and 7. The function of the input element is a symmetrical triangle function, while the one of the output element is a fuzzy singleton.

It was found that the determination value (R^2) of the drying chamber, the commodity and the heater were 0.65, 0.62 and 0.67 respectively with the respective RMSE value of 2.2, 2.8 and 2.3. A set of input of 7 was found to give the best LFC as compared with other sets of input.

The control of drying chamber temperature using LFC for drying of chilli is best conducted in the range of set point of 45 – 55 °C. At a temperature of 45 °C for 72 hours, the moisture content of the chilli was reduced from about 80 % to 32.9 % wet basis with an consumption of energy of 547.02 kWh.

Keywords: Simulation, Logical Fuzzy Control, Finite Different Method, Gauss Jordan Method

Abstrak

Pada penelitian ini dilakukan simulasi pengendalian suhu udara pada alat pengering cabe dengan menggunakan Kontrol Logika Fuzzy. Kriteria pengendalian adalah tidak terjadinya lewatan (overshoot), setting time dan RMSE yang minimum. Karakteristik suhu pada masing-masing sub system pengering di dekati dengan persamaan / model matematika berdasarkan keseimbangan energi pindah panas dan massa. Hasil dari persamaan yang ada diselesaikan secara numerik dengan metode Diferensial Terbatas Implisit Euler yang diselesaikan secara simultan dengan metode Gauss Jordan. Program simulasi komputer dikembangkan dengan menggunakan bahasa pemrograman Borland Delphi 5.0 di bawah sistem operasi Windows 98 dengan prosesor Celeron 566 MHz dan RAM 256 MB.

Untuk mengendalikan suhu udara pengering dilakukan dengan mengatur besarnya daya yang harus diberikan ke heater (pemanas) berdasarkan error dan perubahan error. Error dan perubahan error ini merupakan masukan bagi Kontrol Logika Fuzzy. Keluaran dari KLF adalah daya yang diberikan kepada pemanas. Fungsi keanggotaan masukan adalah fuzzy singleton. Untuk jumlah himpunan fuzzy masukkan dibagi menjadi tiga yaitu 3, 5 dan 7 himpunan. Fungsi keanggotaan dipakai untuk fuzzifikasi dan defuzzikasi.

Nilai determinasi (R^2) untuk sub sistem suhu ruang pengering, produk dan ruang heater berturut-turut adalah 0.65, 0.62 dan 0.67. nilai RMSE berturut-turut adalah 2.2, 2.8 dan 2.3. Kontrol Logika Fuzzy dengan 7 himpunan fuzzy masukan mempunyai hasil yang terbaik dibandingkan dengan 3 dan 5 himpunan fuzzy.

Karakteristik pengeringan dengan KLF dengan suhu setpoint 45 – 50 °C menunjukkan hasil simulasi pengeringan pada suhu 45 °C selama 72 jam pengeringan mampu menurunkan kadar air

cabe dari 80 % menjadi 32.94 % BB dengan kebutuhan energi sebesar 737.750 kWh. Sedangkan pada suhu setpoint 50 °C selama 72 jam pengeringan mampu menurunkan 80 % menjadi 22.88 BB dengan kebutuhan energi sebesar 547.02 kWh.

Kata kunci: Simulasi, Kontrol Logika Fuzzy, Metode Differensial Terbatas, Metode Gauss Jordan

Pendahuluan

Cara pengawetan cabe yang sering dilakukan adalah melalui pengeringan, baik pengeringan secara alami dengan sinar matahari ataupun pengeringan secara buatan dengan alat pengering. Pengeringan secara alami mempunyai banyak kendala sehingga digunakan pengeringan secara buatan. Pengeringan buatan dengan menggunakan alat pengering memberikan beberapa keuntungan diantaranya adalah tidak tergantung pada cuaca, kapasitas pengeringan dapat dipilih sesuai dengan yang diperlukan, tidak memerlukan tempat yang luas serta kondisi pengeringan dapat dikendalikan (Hidayati, 2002).

Salah satu cara untuk mendapatkan hasil pengeringan yang baik adalah dengan membuat alat pengering terkendali (suhu pengering yang terkendali). Dengan adanya kendali suhu pada alat pengering maka suhu ruang pengering diharapkan tidak akan mengalami fluktuasi sehingga bahan/produk tidak akan mengalami kerusakan karena bahan menerima suhu yang sesuai untuk pengeringan bahan tersebut. Selain itu penggunaan kendali suhu pada pengering adalah untuk penghematan penggunaan energi. Hal ini dikarenakan besarnya energi yang diberikan ke pemanas diatur oleh sistem kendali (kontrol) sesuai dengan suhu yang digunakan untuk pengeringan.

Dalam sistem kendali otomatis, kita seringkali dihadapkan pada masalah keterbatasan model sistem yang akan dikendalikan, sistem terlalu kompleks, tidak linier dan sukar didefinisikan sehingga menyulitkan perancang dalam merancang sistem. Karena adanya keterbatasan ini maka muncullah berbagai kendali cerdas seperti JST (Jaringan

Syaraf Tiruan), AG (Algoritma Genetika), dan KLF (Kontrol Logika Fuzzy) (Kuswandi S, 2000).

KLF merupakan salah satu sistem kendali cerdas yang sering diterapkan dalam berbagai system. Logika fuzzy adalah metodologi untuk menyatakan hukum operasional dari suatu sistem dengan ungkapan bahasa, bukan dengan persamaan matematis. Banyak sistem yang terlalu kompleks untuk dimodelkan secara akurat, meskipun dengan persamaan matematis yang kompleks. Dalam kasus seperti itu, ungkapan bahasa yang digunakan dalam logika fuzzy dapat membantu mendefinisikan karakteristik operasional sistem dengan lebih baik. Pada intinya KLF merupakan cara pengendalian yang dapat mensimulasikan cara berpikir manusia untuk mengendalikan suatu sistem fisik yang kompleks (Jamshidi, 1993).

Mengacu pada permasalahan untuk membuat alat pengering terkendali dan perkembangan teknologi maka pada penelitian ini akan membahas tentang simulasi pengendalian suhu udara pada alat pengering cabe dengan Kontrol Logika Fuzzy. Dengan kelebihan yang dimiliki oleh KLF maka diharapkan suhu ruang pengering dapat dikendalikan dengan cara mengatur besarnya energi yang harus diberikan kepada pemanas.

Metode Penelitian

Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Technical Supporting Services Unit, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang.

Bahan dan Alat

Pada penelitian ini pengering yang digunakan adalah pengering tipe rak, yang

terdiri dari 2 bagian utama yaitu : ruang pengering dan ruang *heater*. Ruang pengering terdiri dari 2 bagian yaitu : ruang pengering atas dan bawah. Blower digunakan untuk mengalirkan udara panas dari *heater* ke produk.

Bahan dan alat yang digunakan terdiri dari : 1) termokopel yang berfungsi sebagai sensor suhu, 2) Hybrid recorder yang berfungsi untuk mencatat suhu udara pada sub-sistem dan suhu lingkungan dengan interval waktu 1 jam selama 48 jam, 3) Windmeter untuk mengukur kecepatan udara, 4) Psychrometry chart untuk menentukan kelembaban relative, 5) computer dengan software bahasa pemrograman Borland Delphi 5.0, dibawah sistem operasi Windows 98.

Metode

1. Menyusun model untuk alat pengering berdasarkan persamaan keseimbangan energi pindah panas dan massa untuk memprediksi suhu udara pada ruang pengering.
2. Menyelesaikan persamaan keseimbangan energi secara numeric dengan metode *finite difference* Euler Implisit dan dipecahkan secara simultan dengan metode Gauss Jordan dengan suhu lingkungan sebagai fungsi hasil aplikasi kunik alpine. Penyelesaian persamaan tersebut ditulis dalam bahasa pemrograman Delphi 6.0.
3. Kalibrasi termokopel untuk mengetahui kepresisian nilai yang dihasilkan oleh termokopel.
4. Pengambilan data suhu udara ruang pengering tanpa kendali selama 2 hari (48 jam) dengan interval 1 jam. Suhu bola kering dan bola basah udara lingkungan digunakan untuk mencari kelembaban relative (RH) dengan menggunakan Psychrometry chart (ASAE STANDART, 1998).
5. Studi literature untuk mencari nilai koefisien konveksi berdasarkan literature buku pindah panas dan

perhitungan dari rumus-rumus yang ada.

6. Melakukan verifikasi terhadap model pindah panas dan massa yang telah dibuat dengan membandingkan nilai suhu hasil pengukuran dengan suhu hasil simulasi dan menggunakan koefisien determinasi (R^2) sebagai parameter ukur kemampuan model dalam memprediksi suhu.
7. Melakukan simulasi tanpa kendali dengan menggunakan P (daya) *heater* dan laju aliran udara masuk (\dot{m}_u) yang berbeda-beda. Dari simulasi tersebut akan diambil nilai P *heater* dan (\dot{m}_u) yang dapat membuat suhu ruang pengering tinggi dan RH yang rendah.
8. Melakukan simulasi pengendalian suhu ruang pengering dengan kontrol logika fuzzy dengan beberapa scenario pengendalian dengan set point yang berbeda. Dan menganalisis hasil simulasi terhadap karakteristik pengeringan dan performansi alat pengering yaitu suhu ruang pengering, penurunan kadar air, laju pengeringan dan penggunaan energi selama pengeringan.

Pemodelan dan Perancangan Sistem

Pada sistem pengeringan cabe ini, model disusun berdasarkan analisis pindah panas dan massa. Karakteristik perubahan suhu udara didekati dengan persamaan/model matematika berdasarkan keseimbangan energi pindah panas dan massa. Pada sistem ini pindah panas yang terjadi yaitu konveksi, konduksi dan penambahan panas oleh pemanas.

Dalam menyusun model keseimbangan energi pindah panas dan massa digunakan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Suhu pada masing-masing sub-sistem alat pengering yaitu pada ruang pengering, produk dan udara ruang *heater* dianggap seragam (*lumped model*).

2. Panas jenis/panas spesifik (C_p) masing-masing sub-sistem alat pengering dianggap tetap.
3. Laju aliran udara masuk (inlet) dan keluar (outlet) alat pengering dianggap tetap.
4. Panas yang diterima blower/kipas dianggap tidak ada.
5. Kehilangan panas akibat pembukaan pintu dianggap tidak ada.

Pada penelitian ini sistem alat pengering dibagi menjadi 3 sub-sistem, yaitu : 1) sub-sistem produk, 2) sub-sistem udara ruang pengering dan 3) sub-sistem udara ruang *heater*. Berdasarkan keseimbangan energi $Q_p = Q_1 + Q_2$, maka perubahan suhu produk terhadap waktu dapat dirumuskan sebagai berikut

$$(mC_p)_p \frac{dT_p}{dt} = h_p A_p (T_r - T_p) - \dot{m}_{uap} h_{fg} \quad (1)$$

dimana :

Q_p = laju akumulasi panas dan massa pada produk

Q_1 = laju perpindahan panas konveksi antara produk dengan ruang pengering

Q_2 = laju panas yang digunakan untuk penguapan yang dikeluarkan oleh produk selama pengeringan

Berdasarkan keseimbangan energi pada persamaan $Q_r = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 - Q_5$, maka perubahan suhu ruang pengering terhadap waktu dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$(mC)_r \frac{dT_r}{dt} = h_p A_p (T_p - T_r) + \dot{m}_{uap} h_{fg} + \dot{m}_u C_{pu} (T_h - T_r) + (UA)_{dr} (T_l - T_r) \quad (2)$$

dimana :

Q_r = laju akumulasi panas dan massa pada ruang pengering

Q_1 = laju perpindahan panas konveksi antara produk dengan udara ruang pengering

Q_2 = laju panas penguapan yang diterima udara ruang pengering dari produk.

Q_3 = laju perpindahan massa aliran udara dari ruang *heater* masuk ke ruang pengering

Q_4 = laju perpindahan panas antara dinding ruang pengering dengan lingkungan

Q_5 = laju perpindahan massa aliran udara dari ruang pengering ke lingkungan

Berdasarkan keseimbangan energi $Q_h = Q_6 + Q_7 - Q_3 + Q_{heater}$, maka perubahan suhu pada ruang *heater* terhadap waktu dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$(mC_p)_h \frac{dT_h}{dt} = (UA)_{dh} (T_l - T_h) + \dot{m}_u C_{pu} (T_l - T_h) + P_{heater} \quad (3)$$

dimana :

Q_h = laju akumulasi panas dan massa pada ruang *heater*

Q_7 = laju perpindahan massa aliran udara dari lingkungan ke ruang *heater*

Q_6 = laju perpindahan panas antara udara ruang *heater* dngan dinding ruang *heater*

Q_3 = laju perpindahan massa aliran udara ruang *heater* ke ruang pengering.

P_{heater} = daya *heater*

Perubahan suhu produk terhadap waktu

$$(mC_p)_p \frac{T_p^{(t+\Delta t)} - T_p^t}{\Delta t} = h_p A_p (T_r^{(t+\Delta t)} - T_p^{(t+\Delta t)}) - \dot{m}_{uap} h_{fg} \quad (4)$$

1. Perubahan suhu ruang pengering

$$(mC)_r \frac{T_r^{(t+\Delta t)} - T_r^t}{\Delta t} = h_p A_p (T_p^{(t+\Delta t)} - T_r^{(t+\Delta t)}) - \dot{m}_u C_{pu} (T_h^{(t+\Delta t)} - T_r^{(t+\Delta t)}) + (UA)_{dr} (T_l^{(t+\Delta t)}) + \dot{m}_{uap} h_{fg} \quad (5)$$

2. Perubahan suhu ruang heater

$$(mC_p)_h \frac{T_h^{(t+\Delta t)} - T_h^t}{\Delta t} = (UA)_{dh} (T_l^{(t+\Delta t)} - T_h^{(t+\Delta t)}) + \dot{m}_u C_{pu} (T_l^{(t+\Delta t)} - T_h^{(t+\Delta t)}) + P_{heater} \quad (6)$$

Simulasi model keseimbangan energi pindah panas dan massa digunakan untuk menghitung perubahan suhu udara pada ruang pengering dan pengendalian suhu ruang pengering. Simulasi dilakukan dengan memecahkan persamaan differensial pada persamaan keseimbangan energi masing-masing sub sistem diatas secara numerik dengan *Finite Difference Euler Implisit* dan dipecahkan secara simultan dengan metode Gauss Jordan.

Persamaan keseimbangan energi pada persamaan (1), (2) dan (3) didekati dengan metode *Finite Difference Euler Implisit*.

Suhu udara lingkungan yang merupakan kondisi batas didapat dari pengukuran dibuat menjadi fungsi dengan interpolasi kubik spline, yaitu polynomial pangkat tiga. Sehingga suhu lingkungan dapat berubah pada setiap waktu (dt) sesuai kebutuhan. Pembuatan persamaan tersebut dilakukan dengan menggunakan aplikasi Kubik Spline (setiawan, 1997).

Hasil Dan Pembahasan

Hasil pengukuran suhu dan kelembaban relative (RH).

Suhu udara lingkungan berkisar antara 21-32°C dengan suhu rata-rata

sebesar 24.6°C. Suhu minimum terjadi pada jam 4 pagi – 7 pagi sedangkan suhu maksimum terjadi pada jam 12 siang – jam 2 siang. Suhu ruang pengering (suhu bola kering) berkisar antara 33 - 44°C dengan suhu rata-rata sebesar 37.9°C. Suhu minimum terjadi pada jam 5 pagi – 7 pagi dan suhu maksimum terjadi jam 11 siang – jam 2 siang.

Suhu produk/cabe merah berkisar antara 32 - 44°C dengan suhu rata-rata sebesar 36.7°C. Suhu minimum terjadi pada jam 7 pagi dan suhu maksimum terjadi pada jam 11 siang – jam 3 siang. Suhu ruang heater berkisar antara 35-45°C dengan suhu rata-rata sebesar 39.1°C. Suhu minimum ruang heater terjadi pada jam 5-7 pagi dan suhu maksimum terjadi pada jam 11 siang – jam 2 siang.

Besarnya nilai RH (*Relatif Humidity*) lingkungan berfluktuasi mengikuti perubahan suhu bola kering dan suhu bola basah lingkungan. Nilai RH lingkungan berkisar antara 60-100% dengan RH rata-rata sebesar 82%. Nilai RH maksimum terjadi pada jam 5 pagi – 6 pagi dan jam 11 malam serta pada jam 2 pagi sedangkan RH minimum terjadi pada jam 12 siang – jam 3 siang.

RH lingkungan akan berpengaruh terhadap proses pengeringan. Dengan besar suhu lingkungan yang sama.

Tabel 1. Suhu dan RH max, min dan rata-rata sistem pengering dan lingkungan

Parameter pengukuran	max	min	Rata-rata
Suhu bola kering lingkungan (°C)	32.0	20.5	24.6
Suhu bola basah lingkungan (°C)	26.0	19.0	22.2
Suhu bola kering ruang pengering (°C)	44.1	33.7	37.9
Suhu bola basah ruang pengering (°C)	35.7	28.8	31.4
Suhu produk/cabe (°C)	43.6	32.4	36.7
Suhu ruang <i>heater</i> (°C)	45.0	35.0	39.1
RH lingkungan (%)	100	60	82
RH ruang pengering (%)	71	45	63

Apabila RH lingkungan tinggi maka udara dari lingkungan yang masuk ke dalam ruang pengering akan banyak membawa uap air. Sehingga proses pengeringan tidak akan berjalan dengan cepat. Hal ini disebabkan perbedaan tekanan uap pada permukaan produk/cabe dengan udara ruang pengering kecil.

Demikian sebaliknya, dengan besar suhu lingkungan yang sama, apabila RH lingkungan rendah maka udara dari lingkungan yang masuk ke dalam ruang pengering akan sedikit membawa uap air. Sehingga proses pengeringan akan berjalan dengan cepat. Hal ini disebabkan perbedaan tekanan uap pada permukaan produk/cabe dengan udara ruang pengering yang besar.

Verifikasi model

Verifikasi model ini digunakan untuk mengetahui apakah model yang dibuat dapat menggambarkan suhu pengering yang sebenarnya. Verifikasi dilakukan dengan membandingkan data suhu hasil pengukuran dengan data suhu dari perhitungan model simulasi yang telah dibuat.

a. Verifikasi suhu pengering, suhu produk dan suhu ruang *heater*

Hasil verifikasi suhu untuk ruang pengering, suhu produk dan suhu ruang *heater* menunjukkan bahwa model simulasi yang dibuat secara umum sudah mampu untuk menduga suhu masing-masing sub-sistem dengan baik. Sebaran suhu hasil simulasi dapat mengikuti suhu hasil pengukuran. Hal ini dapat dilihat pada Lampiran, Gambar 1, 3 dan 5.

Selain dilakukan dengan melihat grafik sebaran suhu pengukuran dengan simulasi, verifikasi juga dilakukan dengan melihat perbandingan plot data suhu pengukuran dan suhu simulasi pada garis 45°, nilai determinasi (R^2) dan RMSE suhu simulasi terhadap suhu pengukuran. Plot suhu ruang pengering, produk/cabe dan ruang *heater* hasil pengukuran dan simulasi berturut-turut dapat dilihat pada Lampiran, Gambar 2, 4, 6.

b. Verifikasi suhu bola basah dan RH pengering

Hasil verifikasi suhu bola basah mempunyai hasil yang cukup baik, sedangkan hasil verifikasi RH pengering terdapat sedikit perbedaan. Secara umum hasil simulasi suhu bola basah dan RH ruang pengering lebih rendah dari pengukuran. Hal ini terjadi diduga disebabkan uap air dari produk tidak semuanya keluar. Adanya uap air dalam ruang pengering menyebabkan lebih tingginya suhu bola basah dan RH ruang pengering hasil pengukuran daripada suhu bola basah dan RH ruang pengering hasil simulasi. Namun pola yang dihasilkan oleh suhu bola basah dan RH ruang pengering hasil pengukuran dan simulasi menunjukkan pola yang hampir sama. Hal ini dapat dilihat pada Lampiran, Gambar 7 dan 9. Sedangkan hasil plot data suhu bola basah dan RH pengering hasil pengukuran dan perhitungan dapat dilihat pada Lampiran, Gambar 8 dan 10. Pada plot tersebut terlihat bahwa sebaran suhu bola basah dan RH menyebar diatas plot 45°.

Tabel 2. Nilai determinasi (R^2) dan RMSE pengukuran dengan simulasi masing-masing sub sistem

No	Perbandingan pengukuran dengan simulasi	Nilai determinasi	RMSE
1	Suhu ruang pengering	0.65	2.2
2	Suhu produk/cabe merah	0.62	2.8
3	Suhu ruang <i>heater</i>	0.67	2.3

Tabel 3. Nilai determinasi (R^2) dan RMSE pengukuran dengan simulasi suhu bola basah dan RH ruang pengering

No	Perbandingan pengukuran dengan simulasi	Nilai determinasi	RMSE
1	Suhu bola basah ruang pengering	0.62	1.2
2	RH ruang pengering	0.45	9.2

3. Simulasi pengeringan tanpa kontrol

Simulasi pengeringan tanpa kontrol dilakukan dengan memberikan nilai daya *heater* yang tetap dan merubah-ubah nilai laju aliran udara. Hal ini dilakukan untuk mencari nilai laju aliran udara yang paling baik untuk digunakan pada alat pengering tersebut. Daya *heater* yang digunakan sama dengan nilai daya pada saat verifikasi yaitu sebesar 8000 watt. Nilai laju aliran udara yang tentunya nilai yang dapat dihasilkan oleh yang berbeda, yaitu 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.37 dan 0.4 kg/detik. Nilai laju aliran ini akan berpengaruh pada suhu dan RH pada ruang pengering. Apabila nilainya terlalu besar maka suhu ruang pengering akan dingin dan apabila laju aliran udara terlalu kecil uap air hasil penguapan tidak dapat keluar dari ruang pengering. Proses pengering dilakukan suhu pengering yang tinggi namun uap air dari produk tetap keluar dari ruang pengering.

Dari Tabel 4. terlihat bahwa nilai laju aliran udara yang menghasilkan suhu ruang pengering yang tinggi adalah nilai laju aliran udara 0.15 kg/detik, 0.2 kg/detik dan 0.25 kg/detik. Namun bila dibandingkan dengan nilai suhu yang diinginkan yaitu suhu ruang pengering sebesar 45°C, maka nilai laju aliran udara 0.25 kg/detik menghasilkan suhu ruang

pengering yang mendekati 45°C. Sehingga nilai laju aliran udara yang terbaik untuk alat pengering tersebut adalah sebesar 0.25 kg/detik. Selain itu laju aliran udara 0.25 kg/detik akan mampu lebih banyak mengeluarkan uap air dari ruang pengering daripada laju aliran udara 0.2 kg/detik maupun 0.15 kg/detik.

Setelah didapatkan laju aliran udara yang paling sesuai, selanjutnya mencari daya *heater* yang sesuai untuk digunakan pada alat tersebut. Skenario pencarian daya *heater* yang sesuai adalah dengan merubah-ubah nilai daya *heater* sedangkan nilai laju aliran udara dibuat tetap yaitu : 0.25 kg/detik. Pada tahap ini akan dicari daya setpoint 45-55°C. Dengan demikian daya *heater* yang dipilih adalah yang mempunyai suhu ruang pengering minimum 55°C.

Dengan daya *heater* kurang dari 10000W, besarnya suhu pada ruang pengering kurang dari 45°C. Suhu minimum yang dapat diterima agar suhu ruang pengering dapat dikontrol dengan baik adalah 55°C maka daya *heater* 15000 W yang akan digunakan dalam simulasi pengendalian. Karena daya *heater* 15000 W mempunyai nilai minimum 55.5°C.

Tabel 4. Hasil simulasi tanpa kontrol dengan nilai laju aliran udara yang berbeda-beda

No	Skenario		Parameter pengamatan			Energi 72 jam (kWh)
	Daya <i>heater</i> (watt)	Laju aliran udara (kg/detik)	Suhu ruang pengering			
			max (°C)	min (°C)	Rata-rata (°C)	
1	8000	0.4	44.6	32.8	37.7	414.800
2	8000	0.37	45.5	33.7	38.6	414.800
3	8000	0.3	48.2	36.4	41.2	414.800
4	8000	0.25	50.8	39	43.9	414.800
5	8000	0.2	54.5	42.7	47.5	414.800
6	8000	0.15	59.9	48.1	52.9	414.800

Tabel 5. Hasil simulasi tanpa kontrol dengan daya *heater* yang berbeda

No	Skenario		Parameter pengamatan			Energi 72 jam (kWh)
	Daya <i>heater</i> (watt)	Laju aliran udara (kg/detik)	Suhu ruang pengering			
			max (°C)	min (°C)	Rata-rata (°C)	
1	1000	0.25	34.3	22.5	27.413	51.83
2	5000	0.25	43.8	31.9	36.84	259.249
3	8000	0.25	50.8	39	43.9	414.8
4	10000	0.25	55.6	43.8	48.6	518.499
5	11000	0.25	57.9	46.1	50.96	570.350
6	12000	0.25	60.3	48.4	53.31	622.200
7	13000	0.25	62.6	50.8	55.6	674.049
8	14000	0.25	64.9	53.1	58.023	725.899
9	15000	0.25	67.3	55.5	60.37	777.749

Simulasi Pengeringan dengan Kontrol Logika Fuzzy

Simulasi pengendalian suhu ruang pengering cabe dilakukan dengan beberapa scenario untuk mendapatkan hasil pengendalian yang optimal, yaitu dengan terpenuhinya parameter unjuk kerja pengendalian. Parameter unjuk kerja pengendalian dilihat dari tidak terjadinya overshoot (lewatan), time settling dan RMSE terhadap setpoint yang minimal.

Skenario awal pengendalian adalah untuk menentukan jumlah himpunan keanggotaan masukan pada kontrol logika Fuzzy. Jumlah himpunan keanggotaan masukan fuzzy yang digunakan terdiri dari 3 himpunan, 5 himpunan dan 7 himpunan.

Tabel 6. Nilai parameter-parameter yang digunakan pada kontrol logika fuzzy

No	Parameter	Nilai
1	Nilai skala error	0.1
2	Nilai skala perubahan error	0.1
3	Nilai pembagi error	10
4	Nilai pembagi perubahan error	10
5	Nilai pengali output	175

Pada simulasi ini suhu set point yang digunakan adalah 45°C, 50°C dan 55°C. Daya *heater* dan laju aliran udara yang digunakan adalah 15000 W dan 0.25 kg/detik. Hasil simulasi dengan kontrol logika fuzzy dengan jumlah himpunan keanggotaan masukan fuzzy yang berbeda-beda dengan suhu setpoint 45°C, 50°C dan 55°C berturut-turut dapat dilihat pada Tabel 7, 8 dan 9.

Tabel 7. Hasil simulasi kontrol logika fuzzy dengan jumlah himpunan keanggotaan yang berbeda-beda pada suhu setpoint 45°C

No	Jumlah label input fuzzy	Parameter unjuk kerja pengendalian					
		Ess (°C)	Over-shoot	Time Settling (jam)	RMSE	Suhu _{rp} rata-rata (°C)	Energi (kWh) Total
1	3	0.6	-	0.69	0.993	44.9	438.13
2	5	0.3	-	0.72	0.984	44.9	437.39
3	7	0.2	-	0.5	0.863	44.9	437.75

Tabel 8. Hasil simulasi kontrol logika fuzzy dengan jumlah himpunan keanggotaan yang berbeda-beda pada suhu setpoint 50°C

No	Jumlah label input fuzzy	Parameter unjuk kerja pengendalian					
		Ess (°C)	Over-shoot	Time Settling (jam)	RMSE	Suhu _{rp} rata-rata (°C)	Energi (kWh) Total
1	3	0.6	-	0.98	1.441	49.9	547.06
2	5	0.3	-	0.91	1.434	49.8	546.39
3	7	0.2	-	0.64	1.251	49.9	547.02

Tabel 9. Hasil simulasi kontrol logika fuzzy dengan jumlah himpunan keanggotaan yang berbeda-beda pada suhu setpoint 55°C

No	Jumlah label input fuzzy	Parameter unjuk kerja pengendalian					
		Ess (°C)	Over-shoot	Time Settling (jam)	RMSE	Suhu _{rp} rata-rata (°C)	Energi (kWh) Total
1	3	0.6	-	1.08	1.943	54.8	655.7
2	5	0.3	-	1.08	1.939	54.8	655.01
3	7	0.2	-	0.78	1.683	54.8	655.08

Hasil simulasi pengendalian suhu ruang pengering pada suhu setpoint 45°C menunjukkan bahwa kontrol logika fuzzy dengan 3, 5 dan 7 himpunan keanggotaan masuk tidak terjadi overshoot. Untuk parameter time settling dan RMSE, kontrol logika fuzzy dengan 7 himpunan keanggotaan masukan menunjukkan hasil yang lebih baik karena mempunyai nilai time settling dan RMSE yang paling kecil diantara yang lain, yaitu 0.5 jam dan 0.863. Sedangkan untuk suhu rata-rata ruang pengering dan energi total yang dibutuhkan pengeringan mempunyai nilai yang hampir sama yaitu 44.9°C dan 438 kWh. Error suhu ruang pengering selama kondisi steady hanya berfluktuasi 0.2°C untuk KLF dengan 7 himpunan, 0.3°C

untuk KLF dengan 5 himpunan dan 0.6°C untuk KLF dengan 3 himpunan.

Hasil simulasi pengendalian suhu ruang pengering pada suhu setpoint 50°C menunjukkan bahwa kontrol logika fuzzy dengan 3, 5 dan 7 himpunan keanggotaan masukan tidak terjadi overshoot. Untuk parameter time settling dan RMSE, kontrol logika fuzzy dengan 7 himpunan keanggotaan masukan menunjukkan hasil yang lebih baik karena mempunyai nilai time settling dan RMSE yang paling kecil diantara yang lain, yaitu 0.64 jam dan 1.251. Sedangkan untuk suhu rata-rata ruang pengering dan energi total yang dibutuhkan pengeringan mempunyai nilai yang hampir sama yaitu 49.9°C dan 547 kWh. Error suhu ruang pengering selama

kondisi steady hanya berfluktuasi 0.2°C untuk KLF dengan 7 himpunan, 0.3°C untuk KLF dengan 5 himpunan dan 0.6°C untuk KLF dengan 3 himpunan.

Dari skenario penggunaan 3, 5 dan 7 himpunan keanggotaan masukan KLF pada beberapa setpoint menunjukkan bahwa pada semua parameter ukur unjuk kinerja pengendalian, KLF dengan 7 himpunan keanggotaan masukan menunjukkan hasil yang lebih baik.

5. Hasil simulasi pengaruh suhu pengering terkontrol terhadap karakteristik pengeringan

Suhu set point yang digunakan untuk simulasi adalah 45°C dan 50°C . Daya heater dan laju aliran udara yang digunakan adalah 15000 W dan 0.25 kg/detik. Himpunan keanggotaan masukan kontrol logika fuzzy yang digunakan mempunyai 7 himpunan.

Tabel 10. Hasil simulasi KLF dengan 7 himpunan keanggotaan

No	Suhu Set-Point ($^{\circ}\text{C}$)	Parameter unjuk kerja pengendalian				
		Over-shoot	Time Settling (jam)	RMSE	Suhu _{rp} rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)	Energi (kWh) Total
1	45	-	0.5	0.863	44.5	437.75
2	50	-	0.64	1.251	49.9	547.02

Tabel 11. Karakteristik penengrangan hasil simulasi KLF dengan 7 himpunan keanggotaan

No	Suhu Set-Point ($^{\circ}\text{C}$)	Parameter pengamatan					
		Berat produk (cabe)		Kadar air basis basah		Kadar air basis kering	
		Awal (kg)	Akhir (kg)	Awal (%)	Akhir (%)	Awal (%)	Akhir (%)
1	45	7	2.08	80	32.94	400	49.12
2	50	7	1.81	80	22.88	400	29.67

Tabel diatas memperlihatkan bahwa pengeringan dengan suhu 50°C mampu menurunkan kadar air lebih banyak daripada setpoint 45°C . Pada suhu setpoint 45°C selama 72 jam pengeringan mampu menurunkan kadar air cabe dari 80% menjadi 32.94% KABB atau 400% menjadi 49.12% KABK. Sedangkan pada suhu setpoint 50°C selama 72 jam pengeringan mampu menurunkan 80% menjadi 22.88% KABB atau 400% menjadi 29.67% KABK.

Penurunan kadar air yang cepat disebabkan karena pada tahap awal proses masih terdapat massa air pada permukaan cabe merah dalam jumlah besar. Pada saat pengeringan dimulai udara panas yang dialirkan melalui permukaan cabe merah menaikkan tekanan uap air. Pada proses ini terjadi pindah massa dari permukaan cabe merah ke udara dalam bentuk uap air

dalam jumlah besra sampai tekanan uap air pada permukaan cabe merah menurun.

Setelah massa air pada permukaan cabe merah berkurang, maka terjadi perpindahan air secara difusi dari dalam ke permukaan cabe merah. Akhirnya setelah air dalam bahan berkurang, tekanan uap air cabe merah akan menurun sampai terjadi keseimbangan dengan udara sekitar.

Kurva laju pengeringan meningkat pada awal pengeringan dan menurun setelah beberapa jam. Hal ini disebabkan pada awal pengeringan energi panas udara pengering pada mulanya tidak semuanya digunakan untuk menguapkan air cabe merah, tetapi untuk menaikkan suhu cabe merah. Laju pengeringan menurun pada saat perpindahan air dari dalam ke permukaan cabe merah lebih kecil dari penguapan yang terjadi di permukaan cabe merah.

Kesimpulan

1. Model keseimbangan energi pindah panas dan massa yang dibuat telah mampu menerangkan perubahan suhu pada masing-masing sub sistem pengering. Hal ini dapat dilihat dari sebaran suhu hasil simulasi yang mampu mengikuti perubahan suhu hasil pengukuran.
2. Nilai determinasi (R^2) hasil perbandingan suhu hasil simulasi terhadap suhu hasil pengukuran untuk sub sistem suhu ruang pengering, produk dan ruang *heater* berturut-turut adalah 0.65, 0.62 dan 0.67. Nilai RMSE suhu hasil simulasi terhadap suhu hasil pengukuran untuk sub sistem suhu ruang pengering, produk dan ruang *heater* berturut-turut adalah 2.2, 2.8 dan 2.3.
3. Pada verifikasi suhu bola basah dan RH ruang pengering sebaran suhu bola basah dan RH ruang pengering hasil pengukuran menunjukkan hasil yang sedikit lebih tinggi dari hasil simulasi.
4. Nilai determinasi (R^2) hasil perbandingan suhu bola basah dan RH ruang pengering hasil simulasi terhadap hasil pengukuran berturut-turut adalah 0.62 dan 0.45. Nilai RMSE suhu bola basah dan RH ruang pengering hasil simulasi terhadap suhu hasil pengukuran berturut-turut adalah 1.2 dan 9.2.
5. Hasil simulasi pengeringan tanpa kontrol dengan laju aliran udara 0.25 kg/detik menunjukkan bahwa dengan daya *heater* yang dapat menaikkan suhu ruang pengering 45-55°C adalah sebesar 15000W.
6. Hasil simulasi pengeringan dengan kontrol logika fuzzy dengan menggunakan 7 himpunan keanggotaan fuzzy menunjukkan hasil yang lebih baik untuk semua parameter unjuk kerja pengendalian (overshoot, time settling dan RMSE) dari pada kontrol logika fuzzy dengan 3 dan 5 himpunan keanggotaan fuzzy.

7. Simulasi pengeringan pada suhu 45°C selama 72 jam pengeringan mampu menurunkan kadar air cabe dari 80% menjadi 32.94% KABB atau 400% menjadi 49.12% KABB dengan kebutuhan energi sebesar 437.750 kWh.
8. Sedangkan pada suhu setpoint 50°C selama 72 jam pengeringan mampu menurunkan 80% menjadi 22.88% KABB atau 400% menjadi 29.67% KABB dengan kebutuhan energi sebesar 547.02 kWh.

Saran

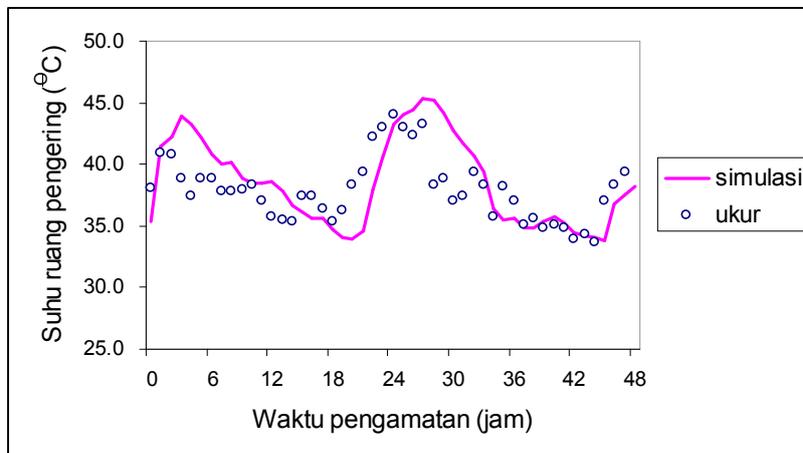
1. Perlu dilakukan verifikasi terhadap penurunan kadar air pengeringan cabe merah
2. Perlu optimasi pada kontrol logika fuzzy agar didapatkan pengontrolan yang optimal misalnya digabungkan dengan artificial neural network maupun genetic algorithm.

Daftar Pustaka

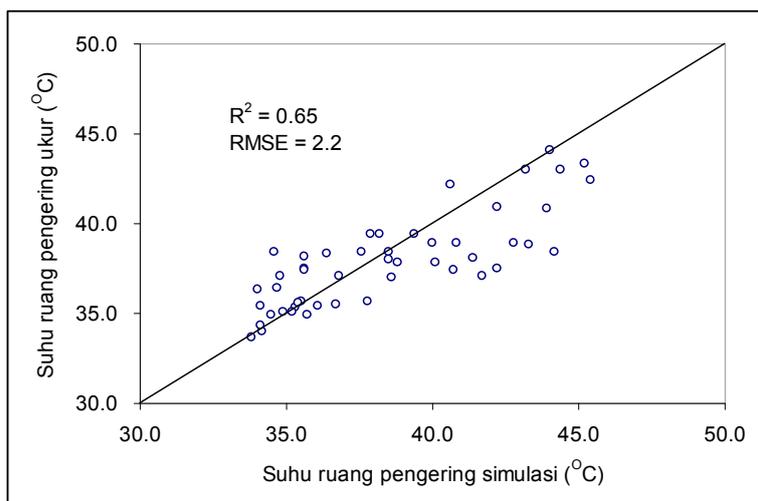
- ASAE. 1998. *ASAE STANDART 1998 45th Edition*. Michigan : St Joseph.
- Bucananan, James L. 1992. *Numerical Methodes and Analysis*. Singapore : McGraw Hill Inc.
- Chapra, Stephen C. 1991. *Metode Numerik Jilid I*. Jakarta : Erlangga
- Dwi Argo, Bambang. 2003. *Diktat Matakuliah Termodinamika*. Jurusan Teknik Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Hidayati, Ifti. 2002. *Mempelajari Karakteristik Pengeringan Cabai Merah (Casicum annum L.) pada Alat Pengering Tipe Kabinet dengan Bahan Bakar LPG*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Bogor. Fakultas Teknik Pertanian IPB. 2002.

- Martina, Inge. 1999. *36 Jam Belajar Komputer Delphi 4.0*. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta
- Jamshidi, M, Timothy J. Ross. 1993. *Fuzzy Logic and Control Software and Hardware Applications*. Prentice-Hall Inc. USA.
- Mujumdar, Arun S. 1995. *Handbook of Industrial Drying second edition Revised and Expanded Volume I*. Marcel Dekker Inc. New York.
- Norris, S.E. 2000. *A Parallel Navier-Stokes Solver for Natural Convection and Free Surface Flow*. Department of Mechanical Engineering University of Sidney. Australia.
- Paramita Training Center. 2000. *Modul Fuzzy Logic*. Paramita Training Center. Malang.
- Ross, Timothy J. 1995. *Fuzzy Logic with Engineering application*. McGraw-Hill Inc. USA.
- Rudiyanto, Setiawan dan L.O. Nelwan. *Model Simulasi Pengendalian Suhu Air Pembenihan Ikan patin (Pangasius sp) pada Sistem Resirkulasi Tertutup dengan Logika Fuzzy*. Jurnal Ilmu Komputer dan teknologi 2 (2). 2002. Hal. 19-23. Fakultas Teknologi Informasi Universitas Tarumanegara. 2002.
- Ferdiansyah, Said W. 2001. *Simulasi Pengeringan Padi Tipe Kontinue Aliran Udara Silang*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Jurusan Teknik Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.
- Senjaya, Imam. 1998. *Pengontrolan Suhu Ruang Pengering dengan Kontrol Logika Fuzzy*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Fakultas Teknologi Pertanian IPB. Bogor.
- Setiawan, B.I. 1997. *Program Aplikasi Kubik Spline dalam Pascal*. Laboratorium Ergotron. Jurusan Teknik Pertanian FATETA-IPB. Bogor.
- Setiawan, B.I. 2002. *Pengembangan Sistem Tata Air Terkendali untuk Pertanian Lahan Gambut*. Laporan RUT VII. Kementerian Riset dan Teknologi RI. LIPI.
- Son Kuswandi. 2000. *Kendali Cerdas (Intelligent Control)*. EEPIS Press. Surabaya.
- Taib, Gunarif. 1988. *Operasi Pengeringan pada Pengolahan Hasil Pertanian*. Mediyatama Sarana Perkasa. Jakarta.
- Waris, Abdul. 1999. *Studi Penerapan Logika Fuzzy pada Pengontrolan Suhu Alat Pengering Gabah Berenergi Sekam*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Program Studi Implementasi dan Kontrol Program Pasca Sarjana. ITB. Bandung.
- Widiyanto. 1990. *Desain Alat Pengatur Suhu dan Kelembaban Dinamis untuk Penengringan Cabai Merah (Capsicum annum L.)*. Skripsi. Tidak diterbitkan. Jurusan Teknik Pertanian. FTP. Bogor.

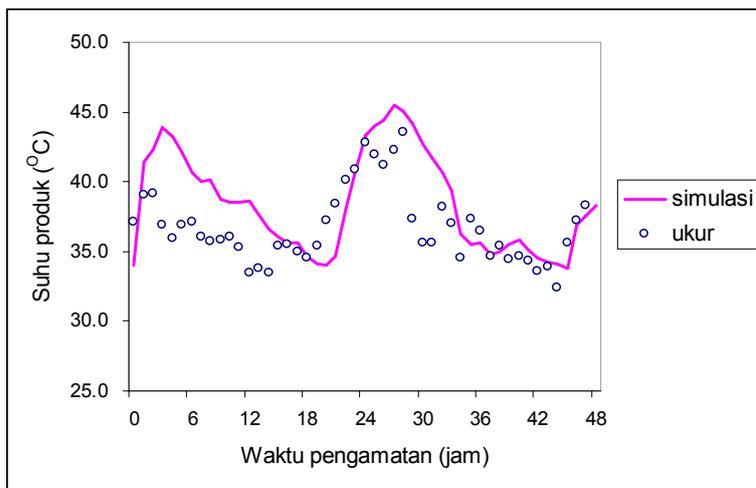
Lampiran



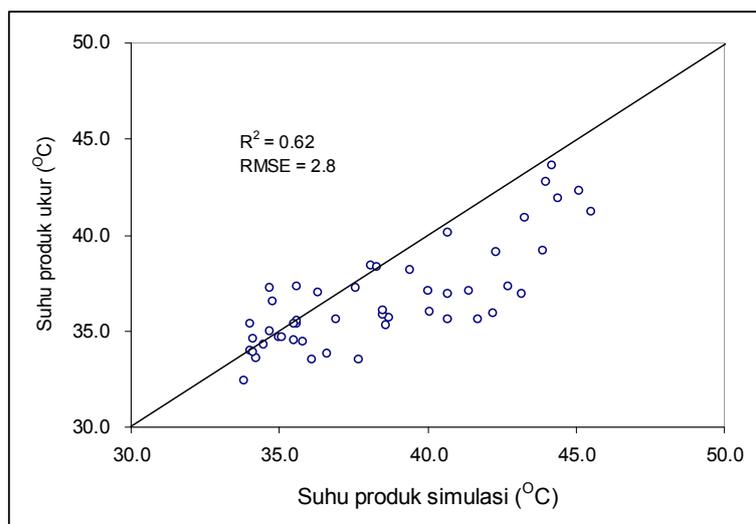
Gambar 1. Perubahan suhu ruang pengering hasil pengukuran dan simulasi



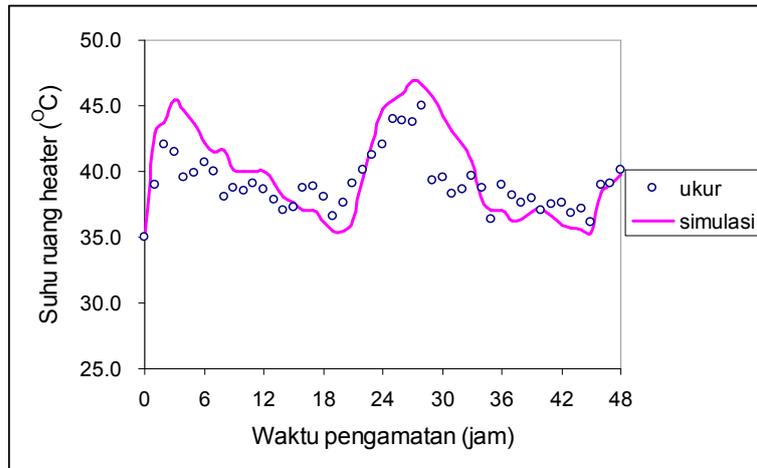
Gambar 2. Plot sebaran suhu ruang pengering hasil pengukuran dan simulasi pada garis 45 derajat



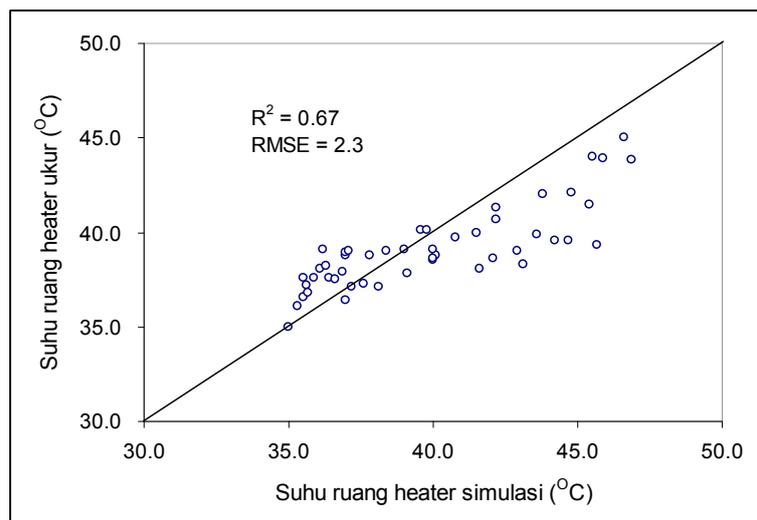
Gambar 3. Perubahan suhu produk/cabe merah hasil pengukuran dan simulasi



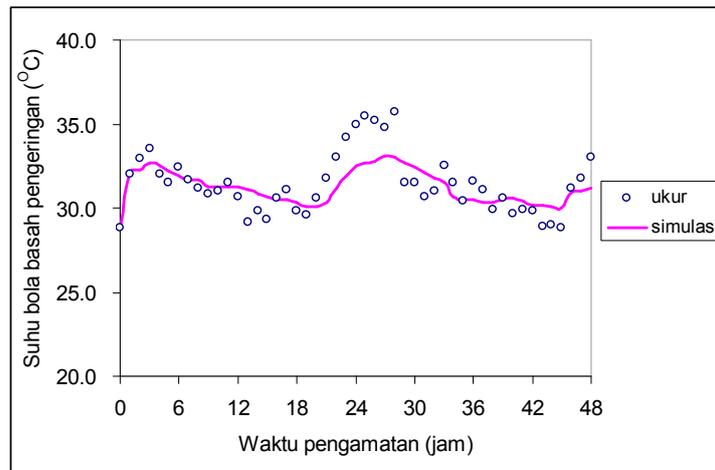
Gambar 4. Plot sebaran suhu produk hasil pengukuran dan simulasi pada garis 45 derajat



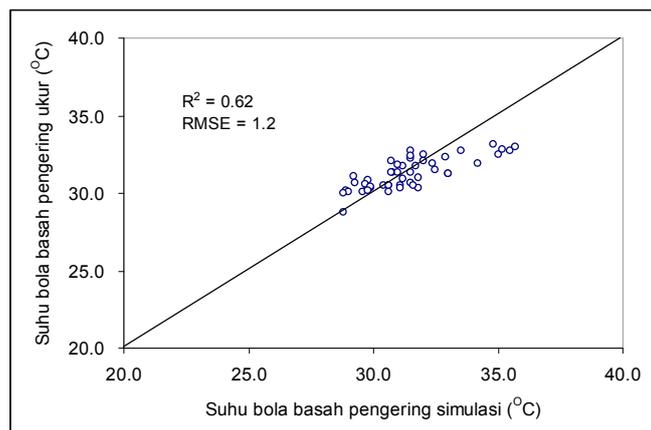
Gambar 5. Perubahan suhu ruang *heater* hasil pengukuran dan simulasi



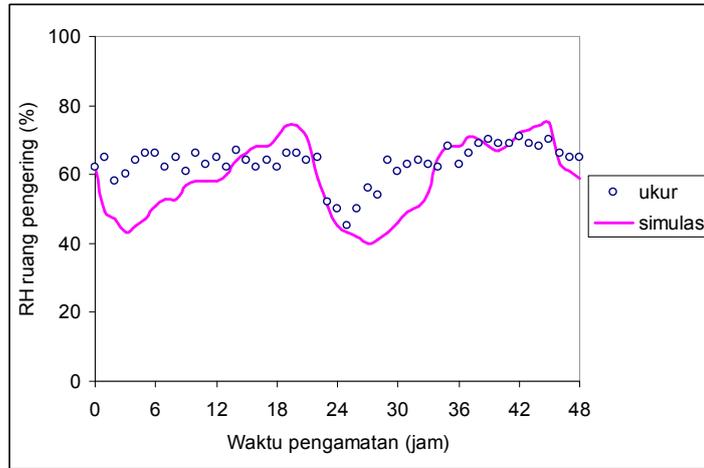
Gambar 6. Plot sebaran suhu ruang *heater* hasil pengukuran dan simulasi pada garis 45 derajat



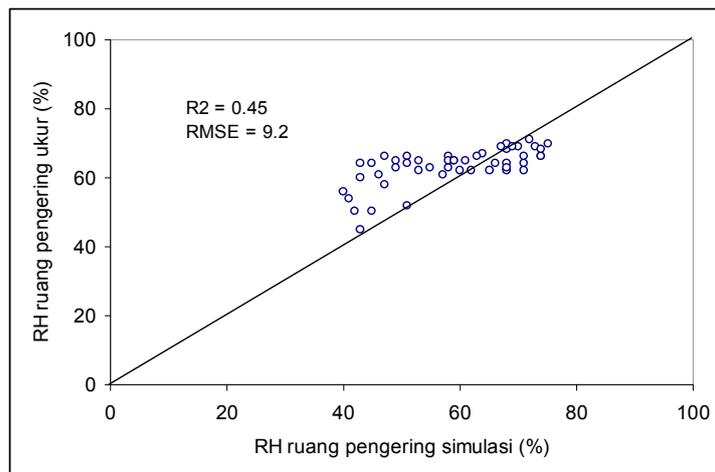
Gambar 7. Perubahan suhu bola basah ruang pengering hasil pengukuran dari simulasi



Gambar 8. Plot sebaran suhu bola basah ruang pengering hasil pengukuran dan simulasi pada garis 45 derajat



Gambar 9. Perubahan RH ruang pengering hasil pengukuran dan simulasi



Gambar 10. Plot sebaran RH ruang pengering hasil pengukuran dan simulasi pada garis 45 derajat