



**KAJIAN POLA SEBARAN ALIRAN UDARA PANAS PADA MODEL PENGERING EFEK
RUMAH KACA HIBRID TIPE RAK BERPUTAR MENGGUNAKAN
COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS**

**(Study Of Heat Flow Distribution Pattern On Hybrid Green-House Effect (GHE)
Solar Dryer With Rotating Racks Type Using Computational Fluid Dynamics (CFD))**

Puji Widodo¹⁾, Dyah Wulandani²⁾ dan Y Aris Purwanto²⁾

¹⁾Balai Besar Pengembangan Mekanisasi Pertanian
Situgadung, P.O. Box 2, Serpong 15310, Tangerang, Banten
Telp./Fax : (021) 5376580,70936787; (021) 71695497

²⁾Staf Pengajar pada Departemen Teknik Pertanian. Fateta IPB
Kampus IPB Darmaga
Jl. Raya Darmaga, Bogor 16680
Telp. (0251) 8622642

ABSTRAK

Keseragaman kadar air akhir produk yang dikeringkan masih menjadi masalah yang banyak dijumpai pada pengering efek rumah kaca (ERK) tipe rak statis dan rak yang berputar secara horisontal. Distribusi aliran udara panas di dalam ruang selama periode pengeringan berpengaruh pada keseragaman kadar air produk. Hipotesis dalam penelitian ini adalah geometri ruang pengering dan posisi inlet outlet berpengaruh terhadap distribusi aliran udara panas di dalam ERK. Tujuan penelitian ini untuk mengkaji distribusi aliran udara panas di dalam ERK tipe rak berputar dengan model simulasi menggunakan *computational fluid dynamics* (CFD) dan untuk memvalidasi model. Ada enam skenario model efek rumah kaca yang disimulasikan berdasarkan posisi *inlet outlet* dan geometri ruang pengering. Parameter untuk proses simulasi adalah radiasi surya, kecepatan aliran udara, kelembaban udara lingkungan dan kondisi batas ruang pengering. Hasil simulasi suhu CFD pada beberapa skenario menunjukkan bahwa skenario lima telah menghasilkan suhu ruang pengering tertinggi yaitu 43,5°C dengan deviasi standar 2,2°C dan kecepatan aliran udara rata-rata yaitu 0,13 m/dt dengan deviasi standar 0,15 m/dt. Validasi simulasi dilakukan dengan membandingkan nilai suhu dan kecepatan udara antara hasil pengukuran dengan hasil simulasi dari model pengering yang optimum. Validasi suhu pada skenario lima yang dilakukan dengan tiga kali percobaan diperoleh hasil bahwa nilai simpangan mutlak 0,36%, 1,97%, dan 2,42%, sedangkan validasi kecepatan aliran udara diperoleh simpangan mutlak 0,38%, 0,33%, dan 0,76% serta validasi kelembaban udara diperoleh bahwa simpangan mutlak 0,38%, 0,36%, dan 0,76%.

Kata kunci : Pengering efek rumah kaca, *Computational fluid dynamics* (CFD), proses pengeringan, dan model simulasi.

ABSTRACT

Uniformity of product's moisture content of product is one of the problem at Greenhouse (GHE) solar dryer with static racks type and horizontal rotating racks type. The distribution of heat flow inside the chamber during drying period has an effect on the uniformity of moisture content in the product. The hypothesis in this study was the geometry of drying chamber as well as the position of inlet-outlet has an effect on the heat flow distribution in GHE. The objective of this study were 1) to study the heat flow distribution in GHE solar dryer with rotating racks by simulation model using computational fluid dynamic (CFD), and 2) to validate the model. There were 6 scenarios of GHE solar dryer model that simulated based on outlet form and inlet position. The parameter for simulation process were solar radiation, air flow velocity, ambient relative humidity, and drying chamber boundary condition. The solar dryer model was selected based on the CFD analysis which resulted the highest average temperature. It was found that scenario 5 resulted the average temperature of 43.5°C with standard deviation 2.2°C and average air flow

velocity of 0.13m/s with standard deviation 0.15m/s . Validation of temperature at scenario 5 for three experiments resulted the absolute percentage determination (APD) of 0.36%, 1.97%, and 2.42%. For air flow velocity resulted APD of 0.38%, 0.33% and 0.76%. Relative humidity resulted APD of 0.38%, 0.36, and 0.76%.

Key words : Greenhouse effect solar dryer, computational fluid dynamic, drying process, and simulation model.

PENDAHULUAN

Pengeringan pada produk pertanian tertentu (misalnya cengkeh) menghendaki kandungan minyak dalam bahan tetap utuh, sehingga diperlukan pencegahan terhadap penguapan minyak, oleh sebab itu tidak dilakukan pengadukan agar bahan yang dikeringkan tidak mengalami penurunan kualitas. Pada umumnya, pengeringan produk pertanian masih dilakukan secara tradisional yaitu dengan cara penjemuran di bawah sinar matahari secara langsung. Mekanisme pengeringan pada laju pengeringan menurun meliputi dua proses yaitu pergerakan air dari dalam bahan ke permukaan bahan dan pengeluaran air dari permukaan bahan ke udara sekitarnya. Laju pengeringan menurun terjadi setelah laju pengeringan konstan dimana kadar air bahan lebih kecil dari pada kadar air kritis (Henderson and Perry, 1976). Sedangkan menurut Helmand dan Singh (1980), menyatakan bahwa selama periode laju pengeringan konstan, laju kadar air berpindah dari bahan dibatasi oleh laju evaporasi dari permukaan air pada bahan.

Masalah yang terjadi pada proses pengeringan cengkeh menggunakan rak-rak statis dan rak dinamis yang berputar secara horisontal adalah ketidakseragaman pada penurunan kadar air, suhu dan lama waktu pengeringan antara rak atas, tengah dan bawah. Perbedaan hasil ini terjadi karena perbedaan posisi rak dalam ruang pengering. Udara pada rak-rak yang dekat dengan sumber panas pada umumnya akan memiliki suhu yang tinggi dan sebaliknya yang jauh dari sumber panas akan memiliki suhu yang rendah. Hal tersebut di atas menyebabkan kualitas hasil pengeringan cengkeh yang tidak seragam.

Wulandani (1997) melaporkan bahwa perbedaan suhu terjadi pada ruang pengering pada proses pengeringan kopi berkisar 6°C antara bagian atas dan bawah plat hitam yang dipasang horisontal di atas ruang pengering pada ruang pengering transparan tipe bak. Mursalim (1995) mendapatkan perbedaan suhu sekitar 10°C antara rak bagian tengah dan

bawah pada pengeringan panili. Menurut Mujumdar dan Devahastin (2001), distribusi aliran panas dalam ruang pengering belum merata khususnya pengeringan yang menggunakan tipe rak. Ratnawati (2003), melaporkan bahwa perbedaan suhu terjadi pada ruang pengering sekitar 8,4°C antara rak bagian atas dan bagian bawah pengering pada proses pengeringan cengkeh. Wulandani, (2005) melaporkan bahwa terjadi perbedaan suhu yang cukup besar antara suhu rak atas, tengah dan bawah dengan keragaman rata-rata 3,5°C dan nilai ragam maksimum 4,5°C terjadi pada tingkat radiasi surya rata-rata 538 W/m² yang sangat berpengaruh pada rak bagian atas. Nugraha (2005), menyatakan bahwa distribusi aliran udara panas yang belum merata menyebabkan menurunnya kinerja alat pengering dan ketidakseragaman kadar air produk hasil pertanian juga merupakan akibat ketidakrataannya aliran udara panas di dalam ruang pengering.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut di atas, maka dalam penelitian ini dirancang alat pengering Efek Rumah Kaca (ERK) tipe rak berputar dengan sistem pemanasan hibrid (surya dan listrik) agar diperoleh keseragaman suhu dalam ruang pengering, sehingga produk yang dikeringkan akan menerima panas yang sama di setiap posisi rak-rak berputar. Untuk menentukan disain optimum yang didasarkan pada keseragaman nilai suhu dan kecepatan aliran udara, dalam perancangan ERK tipe rak berputar vertikal skala laboratorium digunakan analisis *computational fluid dynamics* (CFD). Menurut Versteeg dan Malalasekera (1995) CFD adalah sistem analisis yang meliputi aliran fluida, perpindahan panas dan fenomena seperti reaksi kimia yang berdasarkan simulasi komputer. *Computational fluid dynamics* (CFD) adalah ilmu yang mempelajari cara memprediksi aliran fluida, perpindahan panas, reaksi kimia, dan fenomena lainnya dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika atau model matematika (Tuakia, 2008). Penggunaan *software Gambit* dan *software Fluent* mampu melakukan simulasi sebaran udara panas dan kecepatan aliran udara ke dalam *virtual model* atau prototipe dari sebuah sistem dengan



menerapkan kondisi nyata di lapang, dan hasil analisis CFD dapat berupa prediksi secara kuantitatif dan kualitatif. Simulasi distribusi dan pola aliran udara panas ini diharapkan dapat menentukan disain ruang pengering beserta penempatan *inlet* dan *outlet* secara lebih tepat sehingga tujuan keseragaman aliran udara panas terpenuhi.

Hipotesa penelitian ini adalah bahwa distribusi dan pola aliran udara panas diduga dipengaruhi oleh geometri ruang pengering, lokasi penempatan *inlet* dan *outlet*. Kajian pola sebaran aliran udara panas dan validasi dilakukan untuk untuk memprediksi, seleksi dan merancang kinerja pengering ERK hibrid tipe rak berputar skala laboratorium dan untuk menilai ketepatan model pengering ERK lapang terhadap model yang dibentuk oleh CFD.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pola aliran udara optimal dari 6 model pengering efek rumah kaca tipe rak berputar dengan melakukan simulasi menggunakan *software Gambit* dan *Fluent*, serta menguji dan memvalidasi model pengering efek rumah kaca.

Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Maret 2008 sampai Maret 2009. Lokasi penelitian di Labolatorium Energi dan Elektrifikasi Pertanian, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB, Bogor.

Peralatan dan Bahan

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini adalah pengering Efek Rumah Kaca (ERK) Tipe Rak Berputar, Thermocouple tipe CC dengan ketelitian 0.05°C, *Chino Recorder Yokogawa* tipe 3058 dengan ketelitian 0.05 mV, Multimeter digital model YEW tipe 2506A dengan ketelitian 0.05 Ohm, *Hotwire Anemometer model Lutron* tipe AM-4204HA dengan ketelitian 0.05 m/dt, *Pyranometer model EKO* tipe MS-401, *Software Gambit 2.2.30* serta *software Fluent 6.1*

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi 2 tahapan, yaitu melakukan kajian pola sebaran aliran udara optimal dari 6 model pengering efek rumah kaca yang terdiri dari menggambar geometri model alat, melakukan simulasi aliran udara (suhu dan kecepatan), membentuk pola aliran udara suhu, kecepatan dan RH dan melakukan pemilihan model alat pengering yang optimum; Tahap

kedua, menguji dan memvalidasi model pengering ERK hibrid, yaitu diawali dengan pembuatan model alat pengering skala laboratorium yang optimum yang didasarkan pada hasil tahap 1. Hasil pengujian digunakan untuk melakukan validasi simulasi CFD. Model pengering ERK hibrid tipe rak berputar terdapat pada Gambar 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Mekanisme Kerja Alat Pengering ERK Hibrid Tipe Rak Berputar

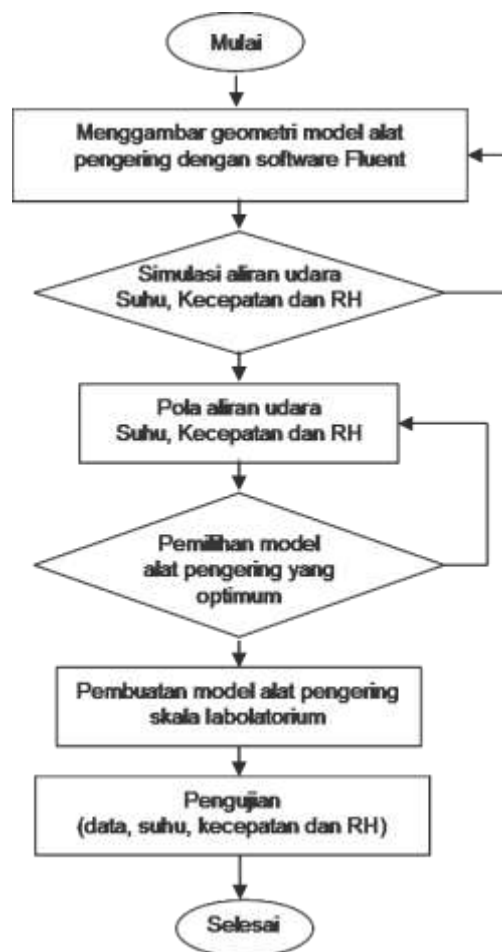
Produk pertanian yang akan dikeringkan dimasukkan ke dalam rak-rak setinggi permukaan rak 2,5 cm dan ditempatkan pada posisi dudukan rak-rak di dalam ruang pengering. Sementara itu, radiator dipanaskan melalui pemanasan air menggunakan heater dan saat bersamaan dihidupkan pula kipas radiator dan kipas *outlet*.

Panas yang terjadi di dalam ruang pengering ERK hibrid sebagai akibat dari energi gelombang pendek yang dipancarkan sinar matahari, diserap benda yang ada di dalam ruang pengering, sebagian energi ini diserap dan dipantulkan dalam bentuk gelombang panjang yang tak tembus penutup transparan. Lapisan penutup transparan memungkinkan radiasi gelombang pendek dari matahari masuk dan menyekat radiasi gelombang panjang (Abdullah, 1990). Panas yang terjadi di dalam ruang pengering juga ditimbulkan oleh konveksi aliran udara panas dari radiator ke ruang pengering, sehingga secara simultan panas yang dihasilkan oleh radiasi matahari dan panas yang dihasilkan dari radiator dan disebut sebagai pengering hibrid.



Keterangan: 1. Atap, 2. Rangka pengering, 3. Rak, 4. Radiator, 5. Lubang inlet dan outlet, 6. Kipas, 7. Lantai

Gambar 1. Model pengering ERK hibrid



Gambar 2. Diagram alur penelitian



Gerakan aliran udara melalui outlet menyebabkan aliran udara lingkungan masuk ke dalam ruang pengering. Udara lingkungan ini akan bercampur dengan udara panas dalam ruang pengering dan bergerak mengikuti bentuk ruang pengering menuju outlet. Aliran udara panas ini akan kontak dengan permukaan produk pertanian dalam rak-rak pengering, sehingga menimbulkan efek pengeringan. Kontak yang terjadi antara aliran udara panas simultan dan produk pertanian secara terus menerus menyebabkan terjadinya proses pengeringan.

Validasi Suhu Ruang Pengering

Validasi suhu ruang pengering dilakukan pada percobaan 1, 2 dan 3 dengan 3 kali ulangan. Validasi suhu ruang pengering untuk mendapatkan error antara nilai suhu pengukuran dan suhu ruang pengering CFD. Untuk menggambarkan sebaran suhu ruang pengering CFD diperlukan input kondisi batas ruang pengering dan kondisi lingkungan. Perhitungan pindah panas secara konveksi dilakukan terhadap kondisi batas ruang pengering yang meliputi atap, lantai, dinding kanan, kiri, depan, belakang dan radiator terdapat pada Tabel 1.

Simulasi suhu ruang pengering dengan menggunakan CFD diperoleh pada Gambar 23-25. Untuk dapat membandingkan antara gambar simulasi ruang pengering satu dan gambar yang lainnya, maka digunakan batas nilai bawah ditetapkan 40°C dan batas nilai atas 60°C.

Metoda *curve fitting* dilakukan untuk mendapatkan nilai-nilai suhu, kecepatan, kelembaban udara pada semua titik-titik grid pada bidang XY sehingga menjadi titik-titik data

suhu, kecepatan dan kelembaban udara pada bidang X, bidang Y di dalam program Exel.

Pada umumnya gradasi warna yang mengelilingi bidang irisan potongan melintang ruang pengering memiliki warna yang lebih tinggi dari pada warna yang berada di dalam ruang. Hal ini terjadi karena akumulasi suhu yang dipengaruhi oleh panas sinar matahari pada dinding ruang pengering, panas konveksi yang diperoleh dari konveksi udara radiator dan pencampuran aliran udara panas yang masuk ke dalam ruang pengering. Aliran udara panas bergerak dari inlet menuju outletnya dan sebagian ada yang bergerak dan menyebar di dalam ruang pengering untuk selanjutnya keluar menuju outlet.

Suhu ruang pengering pada percobaan 1, 2 dan 3 berkisar 40-50°C, dimana posisi titik pengukuran lapang dan posisi titik CFD berhimpitan yang berarti bahwa nilai simulasi suhu pada bidang-bidang tersebut diatas mendekati sama dengan suhu yang diperoleh pada titik-titik pengukuran di lapang.

Pada Gambar 4 memperlihatkan perbandingan antara nilai-nilai suhu yang diperoleh pada simulasi CFD dan data suhu pengukuran lapang pada percobaan 1, 2 dan 3. Nilai simpangan mutlak pada percobaan 1, 2 dan 3 berturut-turut (APD) adalah 0.36 , 1.97 dan 2.42% .

Nilai rata-rata simpangan mutlak pada validasi suhu ruang pengering 1.58% dan nilai ini dibawah 10%, sehingga data yang diperoleh dari hasil perhitungan simulasi CFD dikatakan valid karena nilai APD kurang dari 10%, sebagaimana dinyatakan Lomauro dan Bakshi (1985), dalam Triwahyudi (2009) bahwa model dikatakan cukup valid apabila simpangan mutlak (APD) lebih kecil dari 10%.

Tabel 1. Kondisi batas pada validasi suhu, kecepatan dan RH ruang pengering

	Percobaan 1			Percobaan 2			Percobaan 3			Satuan
	3	4	8	3	5	7	3	5	7	
Lapis										
h Atap	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	4,79	W /m ² . °C
h Lantai	2,19	2,87	1,91	1,8	2,35	1,87	1,8	2,35	1,87	W /m ² . °C
h Dinding kanan	2,31	2,57	2,05	3,31	3,54	3,44	3,99	4,11	4,55	W /m ² . °C
h Dinding kiri	2,75	3,41	3,12	2,22	2,95	1,37	3,63	3,54	4,05	W /m ² . °C
h Dinding depan	2,13	3,08	2,36	1,37	3,59	3,21	3,54	4,19	4,73	W /m ² . °C
h Dinding belakang	2,21	2,71	3,52	3,43	3,55	2,73	4,62	4,68	5,16	W /m ² . °C
h radiator	25,73	27,11	14,42	28,54	20,1	25,5	23,1	24,6	23,5	W /m ² . °C
Potong sb Z jarak	20	30	70	20	40	60	20	40	60	cm
Iradiasi matahari	450	532	574	1032	778	84	702	287	858	W /m ²
Suhu lingkungan	37,4	41,1	39,2	39,5	42,4	35,9	35,4	34,7	39,9	°C
RH lingkungan	78,6	43,8	48,0	55,4	40,6	57,7	58,4	58,4	50,9	%
Kec. Udara inlet	1,36	1,13	1,70	1,14	1,05	1,05	1,10	1,10	0,93	m/s

Validasi kecepatan

Validasi kecepatan pada model pengering dilakukan pada percobaan 1,2 dan 3 dengan 3 kali ulangan. Input kondisi batas pada Tabel 1 digunakan untuk dapat menggambarkan distribusi kecepatan aliran udara di dalam ruang pengering dan gambar distribusi kecepatan udara di dalam ruang pengering terdapat pada Gambar 5.

Kecepatan hasil simulasi pada percobaan 1 berkisar 0,085-1,36m/dt , pada percobaan 2 berkisar 0.064-3.4m/dt dan pada kecepatan percobaan 3 berkisar 0,06-3,4m/dt. Kecepatan aliran udara ini dipengaruhi secara simultan oleh kecepatan aliran udara masuk (inlet), aliran udara dari fan dalam ruang pengering dan kecepatan aliran udara fan yang keluar serta kondisi lingkungannya. Pada umumnya kecepatan aliran udara yang paling besar berada pada posisi bidang vertikal di tengah ruang pengering yang searah inlet menuju outletnya dan ditunjukkan warna warna merah dan kuning, sedangkan warna biru tua menunjukkan bahwa kecepatan aliran udara pada bidang dalam ruang pengering rendah.

Validasi kecepatan aliran udara hasil perhitungan CFD terhadap kecepatan aliran udara di dalam ruang pengering pada percobaan 1, 2, dan 3 ditunjukkan pada Gambar 6.

Simpangan mutlak kecepatan aliran udara pada validasi kecepatan percobaan 1, 2, dan 3 berturut-turut yaitu 1,78%, 0,80%, dan 1,20%. Nilai-nilai simpangan mutlak secara keseluruhan dibawah nilai simpangan mutlak 10%, sehingga hasil data simulasi terhadap data pengukuran lapang adalah valid dan memiliki nilai R mendekati nilai 1 sehingga data simulasi kecepatan udara dapat menjelaskan model pengeringnya.

Validasi Kelembaban Udara Ruang Pengering

Kelembaban udara ruang pengering dipengaruhi oleh suhu dan tekanan uap udara. Suhu yang meningkat di dalam ruang pengering menyebabkan tekanan uap udaranya juga meningkat sehingga menyebabkan tekanan uap yang tinggi bergerak menuju tekanan yang lebih rendah yaitu ke arah outletnya. Kelembaban udara ruang pengering selama proses pengeringan berlangsung secara terus menerus akan mengurangi uap air yang ada di dalam ruang pengering, dengan demikian kelembaban udaranya dari semula tinggi menjadi rendah

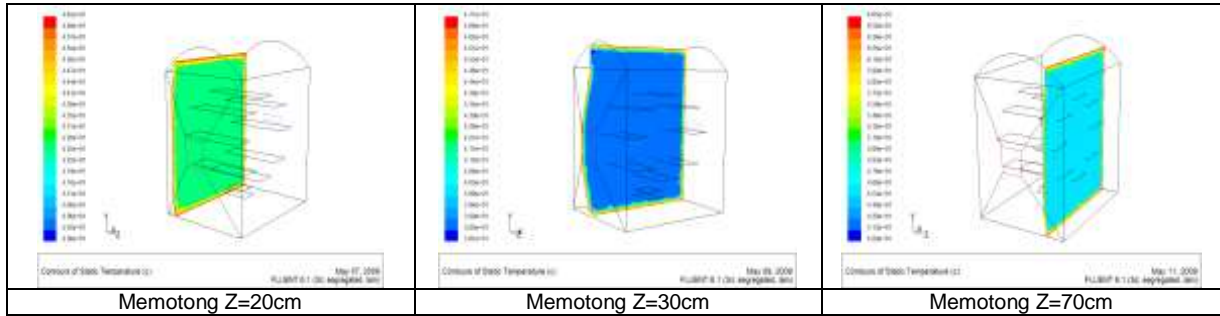
karena pergerakan aliran udara dari tekanan tinggi menuju tekanan rendah.

Kelembaban udara ruang pengering yang diperoleh dari hasil perhitungan CFD dan pengukuran lapang pada percobaan 1, 2, dan 3 berturut-turut kelembaban udaranya adalah 40-60%, 35-50%, dan 30-50%. Faktor yang menyebabkan kelembaban udara ruang pengering berubah yaitu : iradiasi matahari yang berpengaruh terhadap perubahan suhu ruang pengering dan udara lingkungan, peningkatan suhu dalam ruang pengering oleh pengaruh penyebaran panas secara konveksi dari radiator dan kecepatan aliran udara ruang pengering. Validasi kelembaban udara ruang pengering ditentukan oleh nilai koefisien simpangan mutlaknya. Validasi kelembaban udara ruang pengering pada model pengering hibrid tipe rak berputar terdapat pada Gambar 7.

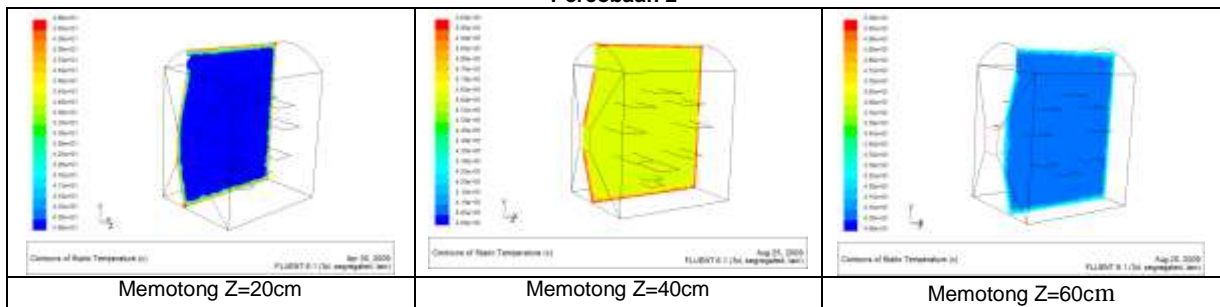
Simpangan mutlak pada validasi kelembaban ruang pengering pada percobaan 1, 2, dan 3 diperoleh berturut-turut adalah 0,38%, 0,33%, dan 0,76%. Ketidaktepatan hasil perhitungan CFD dan data hasil pengukuran lapang dapat menghasilkan error. Error yang diperoleh dari hasil perhitungan disebabkan oleh pengukuran lapang terhadap suhu, kecepatan aliran udara dan kelembaban udara pada titik-titik pada bidang irisan potongan melintang ruang pengering membutuhkan waktu 30 menit dan selama waktu tersebut dapat terjadi perubahan kondisi lingkungan. Kondisi lingkungan yang berubah seperti iradiasi matahari, kecepatan udara masuk, suhu lingkungan dan kelembaban udara lingkungan. Sementara itu, pengukuran CFD pada titik-titik bidang irisan melintang pada ruang pengering sudah disetting pada kondisi suhu, kecepatan udara masuk dan kecepatan fan dalam ruang pengering dalam kondisi tertentu, Kondisi tersebut tidak berubah selama pengukuran CFD terhadap suhu, kecepatan dan kelembaban udara, sehingga terdapat selisih pengukuran antara pengukuran lapang dan pengukuran CFD.



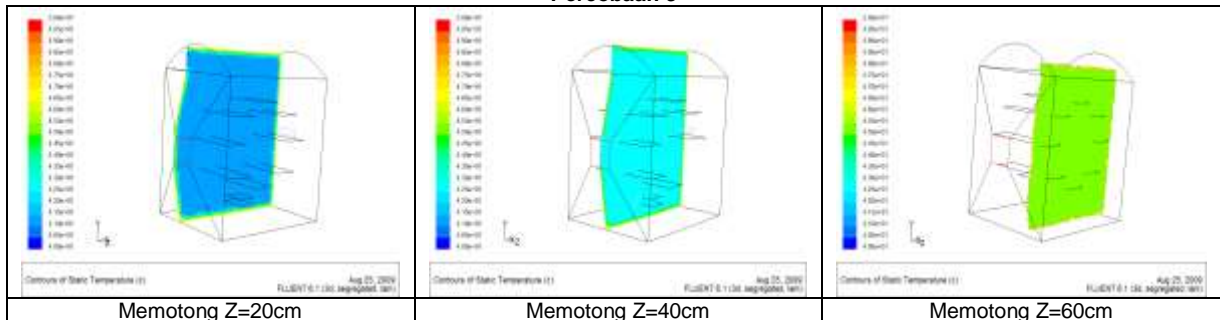
Percobaan 1



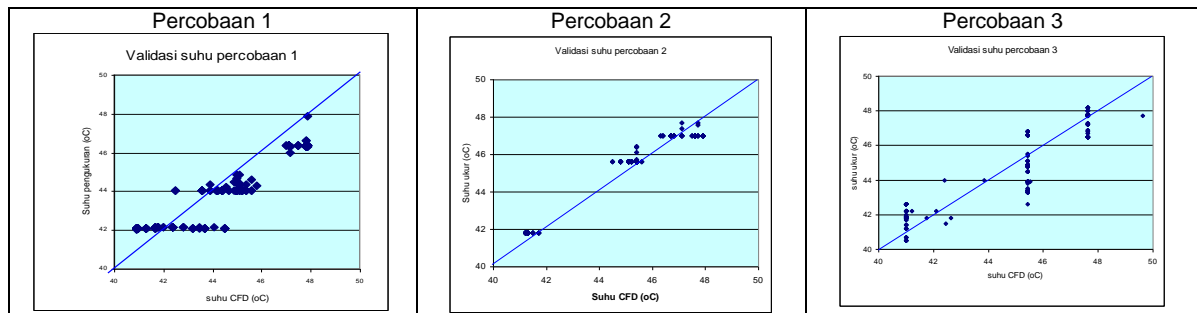
Percobaan 2



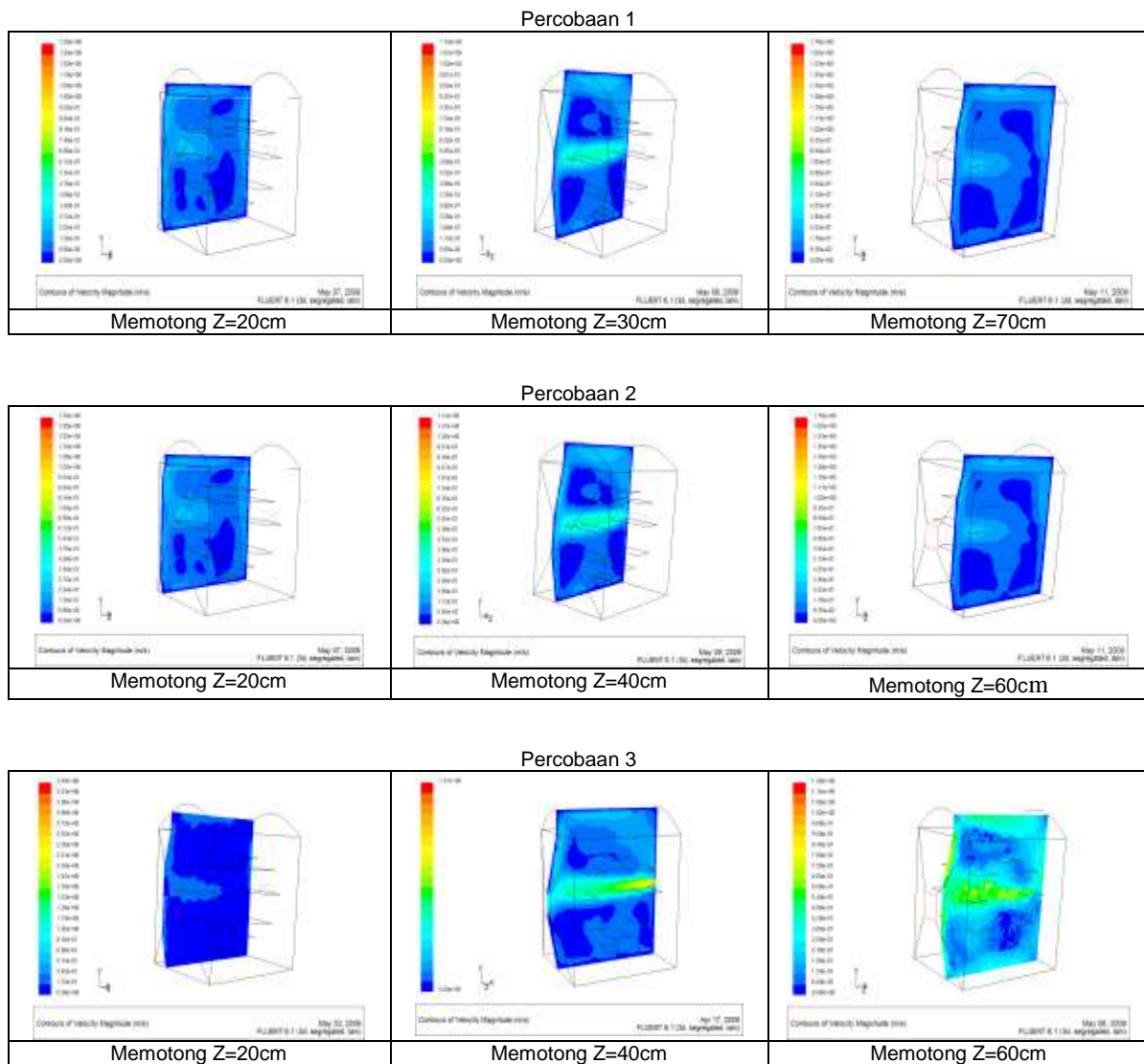
Percobaan 3



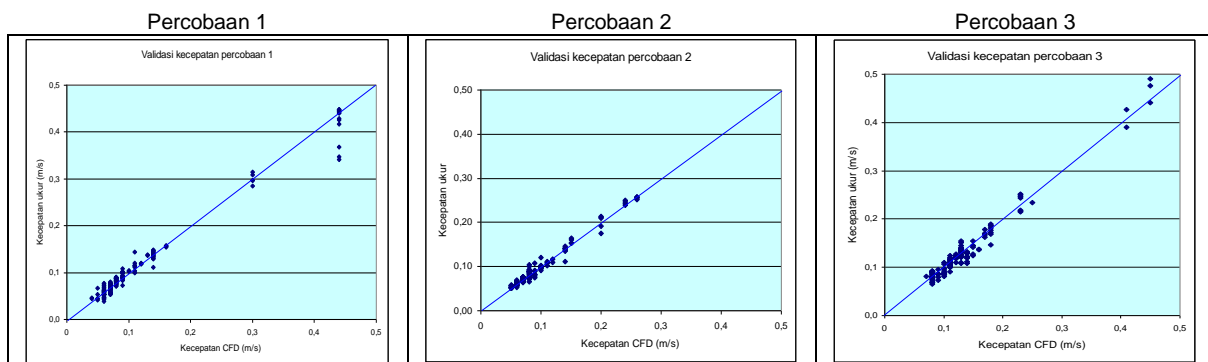
Gambar 3. Bidang simulasi suhu CFD



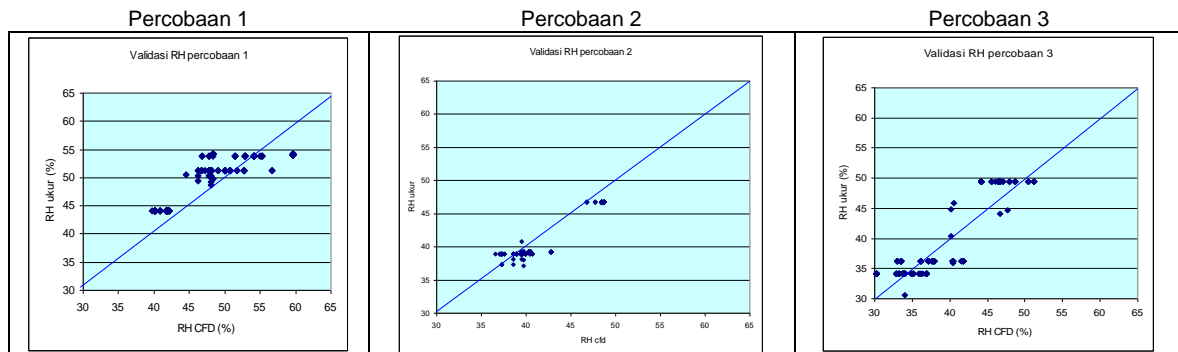
Gambar 4. Validasi suhu ruang pengering



Gambar 5. Hasil simulasi kecepatan percobaan 1, 2 dan 3



Gambar 6. Validasi kecepatan aliran udara pada model pengeringan



Gambar 7. Validasi kelembaban udara ruang pengering

KESIMPULAN

1. Pengering dengan aliran udara optimal telah didapatkan dari 6 skenario model pengering, yaitu Skenario 5 dengan suhu ruang tertinggi 43,5°C dan deviasi standar 2,2 °C dan kecepatan tertinggi dalam ruang pengering 0,12 m/dt dan deviasi standar 0.15 m/dt. Disain pengering pada skenario 5 berbentuk persegi panjang dengan dinding berbentuk limas terpancung pada salah satu sisinya (sebagai outlet). Inlet berada pada bagian tengah dinding yang berseberangan.
2. Simulasi aliran udara dengan CFD (software Gambit dan Fluent) dapat menjelaskan kondisi nyata distribusi udara panas di dalam ruang pengering dengan simpangan mutlak (*error*) untuk suhu dan kecepatan pada 3 kali percobaan masing-masing adalah 0,36% , 1,97% dan 2,42% (suhu) dan 1,78% , 0,80% dan 1,29% (kecepatan).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, K., A.H. Tambunan, L.O. Nelwan, D. Wulandani. 1990. *Energi dan Elektrifikasi Pertanian*. JICA. Jurusan Teknik Pertanian, IPB. Bogor.
- Henderson, S.M., and R.L. Perry. 1976. *Agricultural Process Engineering*. The AVI Pub. Co. Inc. Westport, Connecticut, USA.

Heldman R.D., and R.P., Singh, 1980. *Food Process Engineering*, AVI Publishing Company, Inc. Westport, Connecticut.

Lomauro, G.J., and A.S. Bakshi. 1985. *Finite Elemen Analysis of Moisture Diffusion in Store Foods*. Food Sci. 50 : 395.

Mujumdar, A.S., and S., Devahastin, 2001. *Prinsip Dasar Pengeringan*, Panduan Praktis Mujumdar untuk Pengeringan Industrial, IPB Press, Bogor. Indonesia.

Mursalim. 1995. *Uji Performansi Sistem Pengeringan Energi Surya dan Tungku Batubara dengan Bangunan Tembus Cahaya Sebagai Pembangkit Panas untuk Pengeringan Panili (Vanilla Planifolia)*. FATETA, IPB. Bogor.

Nugraha, I. B., 2005. *Simulasi Pola Aliran Udara, RH dan Suhu Ruang Pengering dengan Teknik Computational Fluid Dynamics (CFD) Pada Proses Pengeringan Mahkotadewa*, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Ratnawati T., 2003. *Simulasi Model Pengering Efek Rumah Kaca Untuk Pengeringan Cengkeh (Eugenia caryophyllus)*, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Tuakia, F., 2008. *Dasar-Dasar Computational Fluid Dynamics Menggunakan Fluent*, Informatika, Bandung.

- Triwahyudi, S., 2009. *Kajian Pengerian Surya Efek Rumah Kaca (ERK) Hibrid dengan Rak Berputar Secara Vertikal untuk Pengerian Kapulaga Lokal (Amomum cardamomum Wild)*. Tesis Pascasarjana IPB, Bogor.
- Versteeg, H.K. and W. Malalasekera, 1995. *An Introduction to computational fluid Dynamics. The finite volume method*. Longman Sc & Technical. Malaysia.
- Wulandani, D., 1997. *Analisis Pengerian pada Alat Pengerian Kopi (coffea sp.) Efek Rumah Kaca Berenergi Surya*. Tesis. Program Studi Keteknikan Pertanian. Program Pascasarjana IPB. Bogor.
- Wulandani, D., 2005. *Kajian Distribusi Suhu, RH dan Aliran Udara Pengerian untuk Optimasi Disain Pengerian Efek Rumah Kaca*, Disertasi, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor. Bogor.



computational fluid dynamic, 105, 106
Computational fluid dynamics, 105, 106
drying process, 106
Greenhouse effect solar dryer, 106
model simulasi., 105
Pengering efek rumah kaca, 105
proses pengeringan, 105, 106, 109, 110
simulation model., 106