

# PROFIL SUHU PADA PROSES PENGERINGAN PRODUK PERTANIAN DENGAN SIMULASI *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS* (CFD)

M. Syaiful<sup>1,\*</sup> dan Hargono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Bengkulu  
Jl. WR. Supratman, Kandang Limun Bengkulu

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Tlp.:62-24-7460058, Fax.: 62-24-76480675

<sup>\*</sup>Penulis korespondensi: [syaiful\\_ft@yahoo.co.id](mailto:syaiful_ft@yahoo.co.id)

## Abstrak

*Pengeringan bahan pangan umumnya bertujuan untuk mengawetkan bahan yang mudah rusak sehingga mutu dapat dipertahankan selama penyimpanan. Proses pengeringan terjadi melalui penguapan air, cara ini dilakukan dengan menurunkan kelembaban (RH) udara dengan mengalirkan udara panas disekeliling bahan, sehingga kecepatan uap air bahan lebih besar dari pada tekanan uap air di udara. Perbedaan tekanan ini menyebabkan terjadinya aliran uap air dari bahan ke udara. Tujuan penelitian adalah untuk melakukan kajian dasar terhadap perpindahan momentum, energi dan massa secara simultan pada proses penguapan air dalam bahan padat ke dalam aliran udara panas yang dilakukan terhadap gabah. Hasil penelitian dengan pemodelan persamaan matematik perpindahan massa, momentum dan energi secara simultan pada sistem pengering dapat memberikan gambaran tentang profil kecepatan, suhu dan RH udara pengering terhadap dimensi panjang rak pengering, tinggi ruangan kosong diatas rak serta dapat menentukan fraksi massa uap air yang terbawa oleh aliran udara keluar system. Guna mempelajari lebih jauh mengenai proses pengeringan ini dipergunakan juga teknik CFD. Penggunaan teknik simulasi CFD secara keseluruhan memberikan gambaran pola aliran udara dan profil suhu mendekati kenyataan dalam percobaan yang dilakukan. Dimana pada lebar 12 cm dan panjang 50 cm, suhu dan kecepatan udara di atas rak berkisar antara 34°C sampai 34,8°C dan kecepatan udara berkisar antara 0,18 m/dt sampai 0,21 m/dt. Untuk panjang rak 25 cm dengan lebar 24 cm kisaran kecepatan udaranya adalah 0,2 m/dt sampai 0,23 m/dt dengan suhu berkisar antara 34,8°C dan 35,2°C. Kadar air akhir gabah pada penelitian ini berturut-turut adalah 14,93% (bb) untuk percobaan 01, 14,52% bb, untuk percobaan 02, 14,83% bb untuk percobaan 03 dan 14,47% bb untuk percobaan 04.*

**Kata kunci:** CFD, pengeringan produk model slab, perpindahan panas, massa dan momentum simultan

## Abstract

*The drying of food material generally aims to reduce moisture of food to a level save for long period of storage. The drying process occurs by applying heat to the product to evaporate moisture from the product to the ambient air. The operating velocity, temperature, and RH level of the drying air surrounding the product should be kept at a certain level during the drying process so that moisture migration from the product to the ambient air could be accomplished in an efficient manner preventing thermal stress to occur which may induce fissures and other quality damage to the product. The focus of this research is related to basic drying mechanism, where heat, momentum and mass transfer which occurs simultaneously will influence the rate of moisture migration out of the product. The change in mass flux of moisture will influence the RH profile and in turn will change both the temperature and drying air flow rate. The understanding this basic phenomenon will lead to understanding on how to manipulate these three controlling parameters of a drying process, namely the air velocity, the temperature and RH in designing a drying system. Computational Fluid Dynamic can describe how the microscopic phenomena during drying process that is useful for studying the depth of the drying process and be the better technique of air stream and temperature profile above the drying slab were obtained. When the width of the slab was at 12 cm and length of 50 cm the temperature and air velocity along the slab varied between 34°C to 34.8°C and the air velocity between 0.18 m/s to 0.21*

*m/s. When the length of the slab was reduced to 25 m, the proper width of the slab was 24 cm to create better variation of air velocity (0.2 m/s to 0.23 m/s) and temperature (34.8°C to 35.2°C). The final moisture content of tested rough rice was 14.93% wb in run 01, 14.52% wb, in run 02, 14.83% wb in run 03 and 14.47% wb in run 04, respectively.*

**Keywords:** *drying of porous materials on slab, CFD, simultaneous heat, mass and momentum transfer*

**PENDAHULUAN**

Komoditas hasil pertanian, terutama gabah masih memegang peranan penting sebagai bahan pangan pokok. Usaha pemerintah dalam meningkatkan produksi padi telah dapat ditingkatkan dari 52,14 juta ton pada tahun 2003 menjadi 54,15 juta ton pada tahun 2005 atau dengan laju pertumbuhan produksi sebesar 3,74% (Hamzirwan, 2007).

Keberhasilan dalam meningkatkan produksi padi, harus diikuti dengan pengembangan teknologi proses dalam bidang pasca panen, khususnya proses pengeringan. Pengeringan merupakan salah satu proses pasca panen yang umum dilakukan pada berbagai produk pertanian yang bertujuan untuk menurunkan kadar air bahan sampai tingkat yang aman untuk penyimpanan atau digunakan pada proses lainnya. Hampir seluruh pengeringan pada produk pertanian dilakukan dengan proses termal. Proses pengeringan produk pertanian yang banyak dilakukan oleh petani adalah dengan cara penjemuran yaitu dengan menghamparkan produk di lantai jemur atau di pinggir jalan. Cara ini memiliki banyak kelemahan, selain dibutuhkan lahan yang luas, juga terjadi kontaminasi produk oleh debu, kotoran dan polusi kendaraan (penjemuran di pinggir jalan). Selain itu, kondisi iklim sangat mempengaruhi proses pengeringan terutama pada keadaan mendung atau hujan sehingga produk harus dipindah-pindahkan dan ini sangat sulit, memerlukan waktu yang lama bila produk yang dikeringkan dalam jumlah besar.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan kajian terhadap transpor momentum, energi dan massa secara simultan pada proses penguapan air dalam bahan padat ke dalam aliran udara panas. Melalui kajian mendasar ini diharapkan dapat ditentukan metodologi operasi yang optimal pada sistem pengering

*Computational Fluid Dynamics* (CFD) merupakan program computer perangkat lunak untuk memprediksi dan menganalisis secara kuantitatif aliran fluida, perpindahan panas, transpor penomena dan reaksi kimia. Analisis aliran fluida dalam suatu sistem dengan CFD merupakan analisis numerik dengan kontrol volume sebagai elemen dari integrasi persamaan-persamaan, yang terdiri dari persamaan keseimbangan massa, momentum dan energi (Versteeg and Malalasekera, 1995).

Untuk dapat menggunakan CFD pada proses simultan momentum, energi dan massa, pemahaman sifat-sifat dasar aliran fluida sangat diperlukan. Persamaan diferensial yang menyusun profil aliran fluida harus ditransformasikan menjadi persamaan matematis yang sederhana dan disebut dengan metoda

diskritisasi (Versteeg and Malalasekera, 1995). Dalam proses simultan persamaan momentum, energi dan massa, profil aliran udara digambarkan secara kuantitatif dalam besaran suhu dan kecepatan dalam persamaan diferensial dengan koordinat kartesian. Pemecahan analisis numerik dengan menggunakan *software CFD Fluent* dengan cara *finite volume* dan pembuatan gambar serta bentuk geometrik alat dilakukan dalam *software Gambit*.

**Cara Kerja Fluent dalam Pemecahan Masalah Aliran Fluida**

Di dalam pemecahan masalah aliran fluida, terlebih dahulu dibuat bentuk geometri alat, pembentukan *grid (mesh)* dan penentuan sifat termofisik serta kondisi batas yang dilakukan dalam *software GAMBIT 2.2.30*

Pemecahan masalah aliran fluida (kecepatan, tekanan, suhu dan lain-lain) didefinisikan pada *node* (titik) di dalam tiga sel. Ketepatan dan ketelitian hasil tergantung dari jumlah sel di dalam *grid (mesh)*, secara umum bila jumlah sel makin banyak maka pemecahan masalah semakin baik.

**Model Persamaan Atur Simulasi CFD**

Simulasi aliran fluida dengan CFD digunakan untuk melihat penyebaran panas berdasarkan distribusi suhu serta aliran udara pemanas dalam ruang pengering berdasarkan perhitungan simulasi CFD. Kajian terhadap karakteristik aliran fluida pada sistem pengering dengan simulasi CFD adalah mempelajari proses pemanasan produk. Perubahan yang terjadi ditinjau dari pindah panas konduksi dan konveksi alamiah.

Kontrol pindah panas konduksi dilakukan pada geometri alat pengering, sedangkan pada pindah panas konveksi alamiah berdasarkan pergerakan panas dari inlet ke ruang pengering. Proses simulasi CFD digunakan untuk melihat efek pindah panas konduksi dan konveksi alamiah selama proses pemanasan udara pengering dengan pemodelan.

**Hukum Kekekalan Massa 3 Dimensi Steady State**

Keseimbangan massa untuk elemen fluida dinyatakan sebagai berikut ;

Laju kenaikan massa dalam elemen fluida = laju netto aliran massa ke dalam elemen terbatas.

Adapun bentuk matematis dapat ditulis seperti (Bird *et al.*,1966):

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \tag{1}$$

Persamaan (1) disebut sebagai persamaan kontinuitas untuk fluida. Ruas kiri menyatakan laju netto massa dari elemen melewati batas dan dinyatakan sebagai faktor konveksi.

### Persamaan Momentum 3 Dimensi Steady State

Persamaan momentum merupakan persamaan Navier-Stokes dalam bentuk-bentuk yang sesuai dengan metoda *finite volume* (Bird *et al.*, 1966) :

Momentum arah x :

$$\rho \left[ u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right] + S_{Mx} \quad (2)$$

Momentum arah y :

$$\rho \left[ u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right] + S_{My} \quad (3)$$

Momentum arah z :

$$\rho \left[ u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right] = \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] + S_{Mz} \quad (4)$$

### Persamaan Energi 3 Dimensi Steady State

Persamaan energi diturunkan berdasarkan hukum pertama termodinamika, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan (Bird *et al.*, 1966) :

$$\rho \left[ u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right] = \rho \left[ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right] + k \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right] + S_i \quad (5)$$

### Tahapan Simulasi CFD pada Alat Pengering

Asumsi :

1. Model aliran dalam alat adalah *laminar*
2. Udara tidak termampatkan (*incompressible*),  $\rho$  konstan
3. Aliran udara dalam kondisi *steady*
4. Bilangan Prandtl udara konstan ( $C_p$ ,  $\mu$  dan  $k$  udara adalah konstan)
5. Udara lingkungan dianggap konstan ( $30^\circ\text{C}$ )
6. Kecepatan aliran udara masuk dianggap seragam

Kondisi awal:

1. Kecepatan aliran udara pada arah X, Y dan Z = 0 m/dt
2. Permukaan suhu dinding luar = suhu lingkungan ( $30^\circ\text{C}$ )
3. Tekanan udara = tekanan barometrik (101325 pascal)

Kondisi batas:

1. Pada sisi masuk sekaligus kipas adalah velocity inlet dengan kecepatan seragam yaitu :  
 $X = 0 \text{ cm } 0 \leq Y \leq 60 \text{ cm } 0 \leq Z \leq 60 \text{ cm}$   
 $u = 0,42 \text{ m/dt } v = 0 \text{ m/dt } w = 0 \text{ m/dt}$

2. Pada sisi keluar diterapkan kondisi batas *outflow*, pada kondisi batas ini, gradien yang searah dengan aliran dari semua variabel aliran (kecuali tekanan) adalah nol. Rasio bukaan saluran *outlet* adalah = 1  
 $X = 120 \text{ cm } 0 \leq Y \leq 60 \text{ cm, } 0 \leq Z \leq 60 \text{ cm}$
3. Pada dinding alat pengering, diberlakukan kondisi batas dinding.

Pada kondisi batas ini komponen kecepatan dalam arah normal dinding adalah nol dan berlaku kondisi tidak slip.

$$\text{yaitu : } \begin{array}{ll} 0 \leq Y \leq 60 \text{ cm} & 0 \leq Z \leq 60 \text{ cm} \\ v = 0 \text{ m/dt} & w = 0 \text{ m/dt} \end{array}$$

### METODOLOGI PENELITIAN

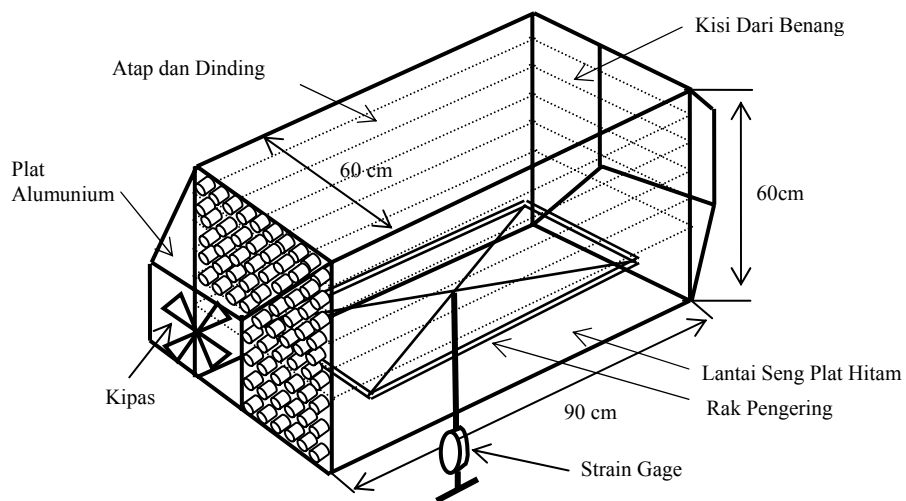
#### Bahan Uji Alat Sistem Pengering

Bangunan alat sistem pengering yang diuji adalah berbentuk empat persegi panjang (Gambar 1) dengan ukuran 90 cm x 60 cm x 60 cm, dinding dan atap terbuat dari plastik transparan jenis mika, sedangkan lantai terbuat dari seng plat yang dicat warna hitam dop. Bagian *inlet* yang sekaligus tempat kipas berbentuk trapesium segi empat dimensi 60 cm x 60 cm dan 18 cm x 18 cm yang terbuat dari seng plat, pada bagian *inlet* ini ditempatkan alat penukar panas (HE) radiator.

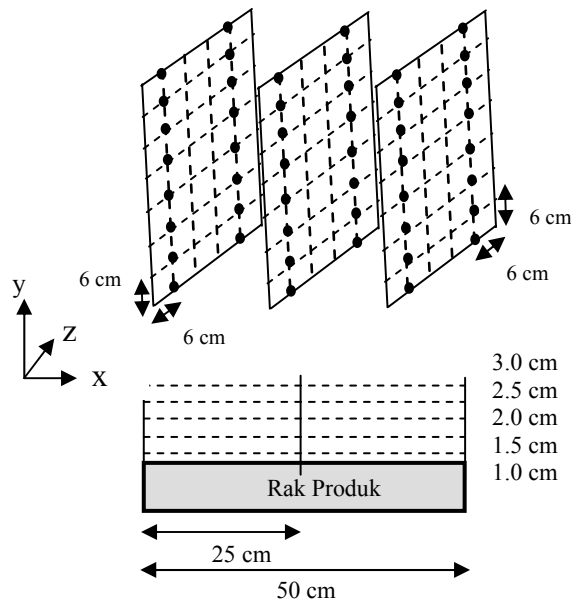
Pada sisi masuk udara ruang pengering dilengkapi dengan susunan pipa PVC ukuran diameter 0,625 cm, panjang 4 cm sebanyak 1024 buah, susunan pipa-pipa kecil ini berfungsi untuk penyearah aliran sejajar serta untuk mendapatkan aliran laminar. Bagian saluran udara keluar juga berbentuk trapesium segi empat dengan dimensi 60 cm x 60 cm dan 14 cm x 14 cm dari bahan seng plat yang permukaannya tidak dicat. Dimensi radiator yang digunakan adalah 34 cm x 34 cm x 6 cm, kipas sebagai pendistribusi aliran udara digunakan jenis aksial dengan daya 55 Watt. Bangunan alat pengering ini di bagian bawahnya ditempatkan ring transduser terbuat dari bahan baja dengan dimensi tebal 0,085 cm dan diameter dalam 51 cm. Ring transduser ini dilengkapi dengan 2 buah *strain gage* 120 ohm yang ditempatkan pada sisi bagian dalam ring.

#### Prosedur Penelitian

Udara sebagai media pengering sebelum masuk ruang pengering dipanasi lewat radiator dan dari sini udara panas dihembuskan ke ruang pengering dengan menggunakan kipas aksial 55 Watt sebagai pendistribusi. Ruang pengering berbentuk empat persegi yang berukuran 90 cm x 60 cm x 60 cm dan rak pengering gabah dengan ukuran 50 cm x 40 cm yang di atasnya dialiri udara panas secara sejajar dengan permukaan produk. Untuk mendapatkan aliran sejajar dan laminar, udara dialirkan melalui pipa-pipa kecil berdiameter 0,625 cm sebanyak 1024 buah yang disusun sedemikian rupa pada sisi *inlet* ruang pengering.



Gambar 1. Alat tiga dimensi yang digunakan dalam percobaan



Gambar 2. Lokasi titik pengukuran suhu dan kecepatan di atas rak produk pada jarak  $x = 25$  cm dan  $x = 50$  cm

Pengukuran parameter suhu dilakukan pada posisi-posisi tertentu yang dianggap mewakili semua permukaan produk sedangkan perubahan massa produk diukur dengan sensor *strain gage* yang ditempatkan dibawah rak produk dengan alat ukur *handy strain meter*.

Lokasi titik-titik pengukuran suhu dilakukan pada bidang  $zx$  untuk ketinggian  $y$  dari 0 (permukaan bahan) - 36 cm, dan pada bidang  $zy$  untuk jarak dari tepi rak  $x = 25$  cm dan  $x = 50$  cm. Percobaan dilakukan pada ketebalan tumpukan gabah 2,2 cm (tinggi maksimum rak yang digunakan) dan ketebalan tumpukan gabah 1,5 cm. Pembentukan bidang-bidang pengukuran dilakukan dengan membuat grid dari benang dan kawat halus. Pada Gambar 2 diperlihatkan letak titik-titik pengukuran suhu dan kecepatan udara.

**Proses Perhitungan Simulasi CFD**

Untuk mendapatkan profil aliran udara panas dalam ruang pengering dipakai dalam percobaan digunakan teknik simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD), dalam kajian dilakukan analisis mendalam terhadap kondisi operasi kecepatan udara dan suhu udara dalam sistem pengering. Proses perhitungan dalam simulasi CFD yaitu dengan cara mendefinisikan solver, material, tekanan acuan, dan kondisi batas. Penyelesaian masalah ini menggunakan solver dengan metoda segresi, material fluida adalah udara dengan sifat fisis  $\rho = 1,1376 \text{ kg/m}^3$  dan  $\mu = 1,90 \times 10^{-5} \text{ kg/m dtk}$  pada tekanan 101,325 kPa, suhu 37,8°C (Geankoplis, 1983). Kondisi batas yang telah didefinisikan di atas diterapkan secara otomatis, dengan hanya menyebutkan jenis kondisi batasnya saja, yaitu *velocity inlet*, *radiator*, *outflow* dan *wall*.

Harga yang perlu dimasukkan hanya nilai-nilai variabel yang sesuai dengan masing-masing kondisi batas. Setelah itu dilakukan pemantauan proses perhitungan dan proses iterasi. Pengendalian solusi dilakukan dengan menentukan faktor relaksasi. Harga faktor relaksasi yang kecil akan menjadikan proses iterasi berlangsung stabil, tetapi bila proses iterasi yang dilakukan semakin banyak, maka faktor relaksasi menjadi besar. Nilai faktor relaksasi yang digunakan dalam permasalahan ini didapat setelah beberapa kali melakukan proses komputasi. Pengendalian solusi juga dilakukan dengan diskretisasi standard dan algoritma interpolasi SIMPLE. Pada perhitungan algoritma SIMPLE dengan metoda solusi *segregasi* implisit, kriteria konvergensi yang diberikan untuk besaran dependen adalah  $10^{-4}$ .

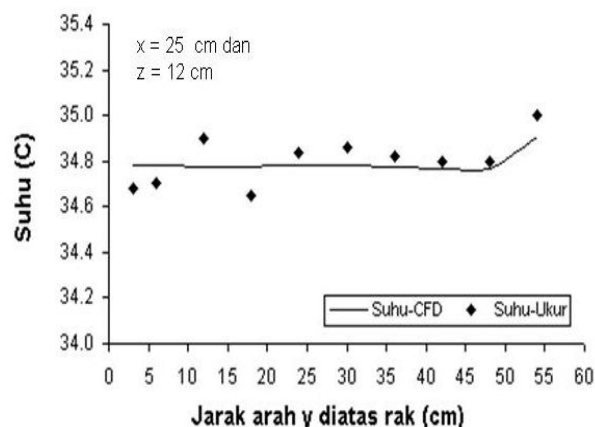
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Distribusi Suhu Udara dalam Ruang Pengering**

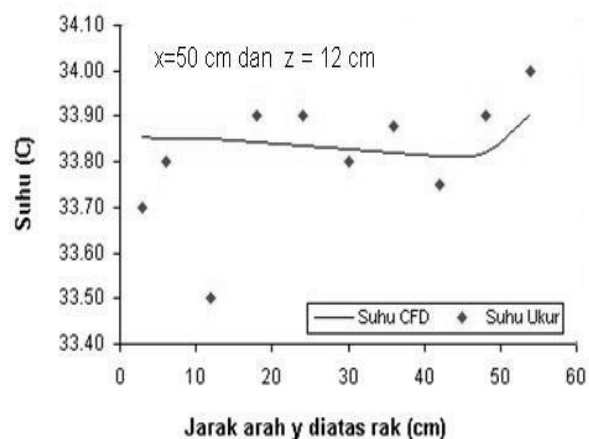
Udara lingkungan pada suhu 30°C sebelum masuk ruang pengering terlebih dahulu dipanaskan melalui penukar panas radiator. Suhu radiator sebagai pemanas udara adalah 89°C. Udara panas keluar radiator bersuhu 41,6°C terdorong ke depan sepanjang *inlet* oleh kipas pendistribusi aliran udara dan disebarkan ke dalam.

**Distribusi Suhu Udara dalam Ruang Pengering**

Udara lingkungan pada suhu 30°C sebelum masuk ruang pengering terlebih dahulu dipanaskan melalui penukar panas radiator. Suhu radiator sebagai pemanas udara adalah 89°C. Udara panas keluar radiator bersuhu 41,6°C terdorong ke depan sepanjang inlet oleh kipas pendistribusi aliran udara dan disebarkan ke dalam ruang pengering. Udara yang masuk ruang pengering mengalami penurunan suhu yang disebabkan oleh adanya hembusan oleh kipas, suhu tertinggi yang dapat dicapai dalam ruang pengering adalah 37,6°C. Gambar 3 dan Gambar 4 memperlihatkan profil suhu dalam ruang dari hasil simulasi perhitungan CFD, yaitu pada panjang rak  $x = 0$  cm,  $x = 25$  cm dan  $x = 50$  cm untuk lebar rak pengering 12 cm dan 24 cm.



Gambar 3. Distribusi suhu udara di atas rak pengering pada panjang rak 25 cm dari tepi depan dan lebar rak 12 cm



Gambar 4. Distribusi suhu udara di atas rak pengering pada panjang rak 50 cm dari tepi depan dan lebar rak 12 cm

Hasil perhitungan suhu dengan simulasi CFD dan suhu pengukuran disajikan dalam Tabel 1 untuk jarak  $x = 0$  cm,  $x = 25$  cm dan  $x = 50$  cm pada lebar rak 12 cm dari tepi.

Tabel 1. Distribusi suhu udara di atas rak pada bidang yz untuk  $z = 12$  cm

Jarak Diatas Rak, y (cm)	x=0 cm dan z=12 cm		x=25 cm dan z=12 cm		x=50 cm dan z=12 cm	
	T (°C)		T (°C)		T (°C)	
	CFD	Ukur	CFD	Ukur	CFD	Ukur
5	34,83	34,20	34,68	34,68	33,85	33,70
10	34,83	34,80	34,78	34,70	33,85	33,80
15	34,81	34,88	34,78	34,90	33,85	33,50
20	34,81	34,78	34,78	34,65	33,84	33,90
25	34,81	34,90	34,78	34,84	33,83	33,90
30	34,81	34,93	34,78	34,86	33,83	33,80
35	34,80	34,86	34,77	34,82	33,82	33,88
40	34,83	34,80	34,76	34,80	33,81	33,75
45	34,87	34,92	34,77	34,80	33,82	33,90
50	34,80	34,90	34,91	35,00	33,91	34,00

Tabel 2. Distribusi suhu udara di atas rak pada bidang yz untuk z = 24 cm

Jarak Diatas Rak, y (cm)	x=0 cm dan z=24 cm		x=25 cm dan z=24 cm		x=50 cm dan z=24 cm	
	T (°C)		T (°C)		T (°C)	
	CFD	Ukur	CFD	Ukur	CFD	Ukur
3	34,87	34,80	34,83	34,80	33,89	34,00
6	34,82	34,74	34,81	34,92	33,88	33,90
12	34,81	34,90	34,81	34,86	33,88	34,00
18	34,81	34,78	34,81	34,88	33,86	33,90
24	34,81	34,95	34,81	34,92	33,85	33,80
30	34,82	34,92	34,82	34,80	33,83	33,87
36	34,80	34,90	34,83	34,90	33,81	33,80
42	34,73	34,80	34,80	34,90	33,81	33,92
48	34,68	34,80	34,85	34,80	33,83	33,80
54	34,68	34,80	34,98	35,00	33,96	34,00

Suhu rata-rata hasil pengukuran untuk x = 0 cm adalah 34,88°C dengan standar deviasi 0,22°C sedangkan rata-rata hasil perhitungan simulasi CFD adalah 34,82°C dengan nilai standar deviasi 0,02°C. Untuk jarak x = 25 cm dan x = 50 cm hasil pengukuran berturut-turut adalah 34,87°C dengan nilai standar deviasi 0,14°C dan 34,11°C dengan nilai standar deviasi 0,35°C. Hasil simulasi CFD untuk jarak yang sama adalah 34,83°C dan 33,84°C. Pada jarak x = 0 cm dan x = 25 cm kondisi suhu diatas rak pengering relatif sama dan pada jarak x = 50 cm suhu mulai menurun, tetapi penurunan ini cukup kecil yaitu sekitar 1°C. Secara keseluruhan profil suhu dalam ruang pengering relatif seragam yaitu pada kisaran suhu 34–35 °C.

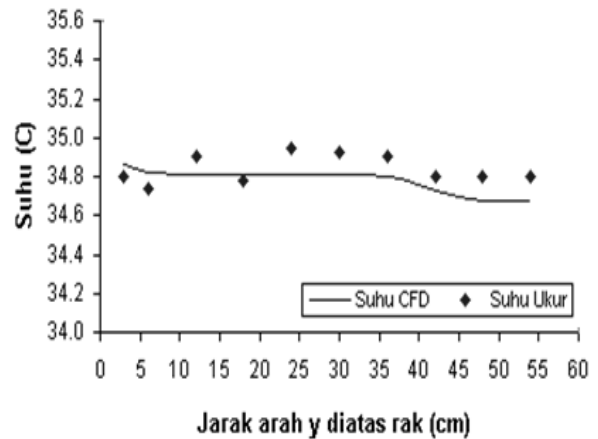
Tabel 2 memperlihatkan data hasil pengukuran suhu pada lebar rak 24 cm, dan x = 0 cm, x = 25 cm dan x = 50 cm serta suhu hasil perhitungan simulasi CFD. Distribusi suhu udara pada lebar rak 24 cm ini menunjukkan hal yang sama dengan hasil pengukuran suhu untuk lebar rak 12 cm, dimana dengan bertambahnya panjang rak, suhu udara mengalami penurunan. Validasi data pengukuran suhu dengan hasil simulasi CFD untuk lebar rak 24 cm disajikan dalam bentuk kurva berdasarkan data dari Tabel 2.

**Validasi Suhu Pengering dengan Simulasi CFD**

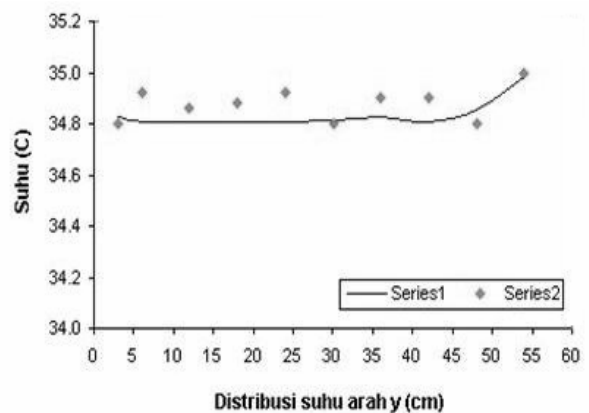
Validasi data pengukuran suhu udara di atas rak pengering untuk x = 25 cm dan lebar rak 12 cm diperlihatkan pada Gambar 3. Hasil pengukuran suhu relatif mendekati sama dengan suhu hasil simulasi CFD demikian juga profil distribusi suhu memiliki pola yang sama. Pada keadaan ini suhu hasil simulasi relatif seragam selama proses berlangsung, perbedaan hasil pengukuran dengan hasil simulasi CFD dinyatakan dalam standar deviasi ± 0,04°C pada selang kepercayaan 95%.

Untuk jarak x = 50 cm dan lebar rak 12 cm hasil suhu simulasi CFD menunjukkan ainya lebih tinggi dari simulasi CFD. Validasi data pengukuran suhu udara diatas rak pada panjang rak pengering x = 50 cm dan lebar rak 12 cm diperlihatkan pada Gambar 4. Hasil pengukuran suhu tertinggi yaitu 34,60°C sedangkan hasil simulasi CFD adalah 33,91°C. Secara keseluruhan suhu pengukuran dan simulasi CFD pada

jarak 50 cm ini mengalami penurunan bila dibandingkan dengan suhu pada jarak 25 cm. Perbedaan hasil pengukuran dengan hasil simulasi CFD dinyatakan dengan nilai standard deviasi sebesar ± 0,05°C, yaitu untuk selang kepercayaan 95%.



Gambar 5. Kurva distribusi suhu udara di atas rak pengering pada tepi depan rak x=0 dengan lebar rak z=24 cm.



Gambar 6. Kurva distribusi suhu udara di atas rak pengering pada panjang rak x=25 cm dari tepi depan dan lebar rak z=24 cm

Tabel 2 memperlihatkan data hasil pengukuran suhu pada lebar rak 24 cm, dan x = 0 cm, x = 25 cm

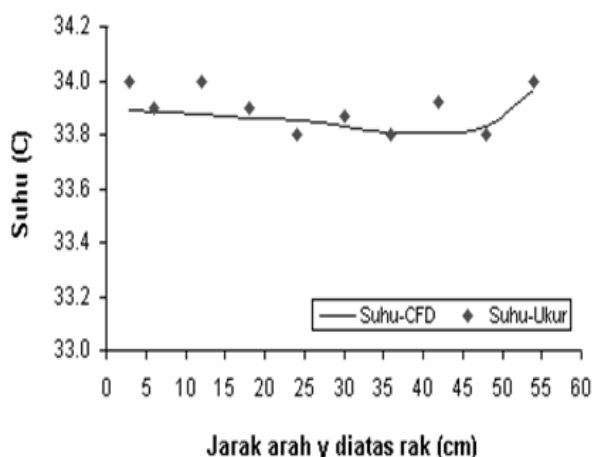
dan  $x = 50$  cm serta suhu hasil perhitungan simulasi CFD. Distribusi suhu udara pada lebar rak 24 cm ini menunjukkan hal yang sama dengan hasil pengukuran suhu untuk lebar rak 12 cm, dimana dengan bertambahnya panjang rak, suhu udara mengalami penurunan. Validasi data pengukuran suhu dengan hasil simulasi CFD untuk lebar rak 24 cm disajikan dalam bentuk kurva berdasarkan data dari Tabel 2.

Validasi data pengukuran suhu udara diatas rak pengering untuk  $x = 25$  cm dan lebar rak 24 cm diperlihatkan pada Gambar 6. Hasil pengukuran suhu tertinggi adalah  $35,20^{\circ}\text{C}$  sedangkan suhu tertinggi pada simulasi CFD adalah  $34,98^{\circ}\text{C}$ , namun pola distribusi suhu pengukuran ini hampir sama dengan hasil simulasi CFD.

Verifikasi suhu udara dalam ruang pengering hasil pengukuran dengan simulasi CFD pada panjang rak 25 cm dari tepi depan dan lebar rak 24 cm memeberikan perbedaan hasil pengukuran dengan hasil simulasi CFD yang dinyatakan dengan nilai standar deviasi sebesar  $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ , pada selang kepercayaan 95%.

Validasi data pengukuran suhu udara diatas rak pengering untuk  $x = 50$  cm dan lebar rak 24 cm diperlihatkan pada Gambar 7. Di sini terlihat bahwa hasil pengukuran suhu lebih tinggi dibandingkan dengan hasil perhitungan simulasi CFD. Rata-rata hasil pengukuran suhu adalah  $34,82^{\circ}\text{C}$  dengan nilai standar deviasi  $0,16^{\circ}\text{C}$ , sedangkan rata-rata hasil simulasi CFD adalah  $33,86^{\circ}\text{C}$  dengan nilai standar deviasi  $0,05^{\circ}\text{C}$ .

Verifikasi suhu udara di atas rak pengering hasil pengukuran dengan simulasi CFD pada panjang rak 50 cm dari tepi depan dan lebar rak 24 cm memberikan perbedaan hasil pengukuran dengan hasil simulasi CFD yang dinyatakan dengan nilai standar deviasi sebesar  $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ , yaitu pada selang kepercayaan 95%.



Gambar 7. Kurva distribusi suhu udara di atas rak pengering pada panjang rak  $x=50$  cm dari tepi depan dan lebar rak  $z=24$  cm

Perbandingan suhu antara lebar rak (arah  $z$ ) 12 cm dengan lebar rak 24 cm untuk panjang permukaan rak gabah 25 cm disajikan dalam Tabel 3. Untuk

melihat apakah ada perbedaan yang nyata antara lebar rak 12 cm dan 24 cm, dilakukan uji F sedangkan Tabel 4 memperlihatkan hasil perhitungan uji F.

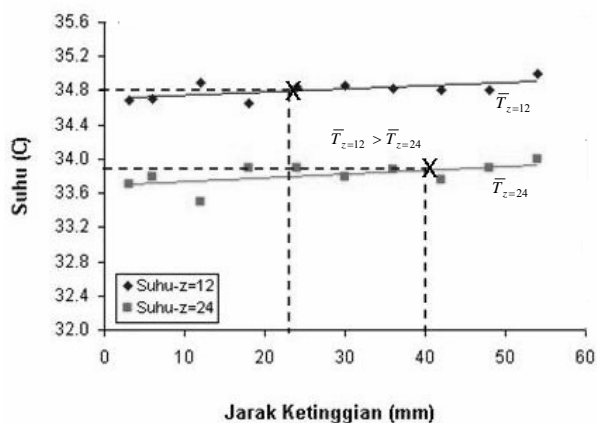
Tabel 3. Perbandingan suhu dan kecepatan antara  $z=12$  cm dengan  $z=24$  cm untuk panjang permukaan rak 25 cm ( $T = 37,6^{\circ}\text{C}$  dan  $v = 0,42$  m/dt)

Y (cm)	Suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )	
	Z= 12 cm	Z= 24 cm
5	34,68	34,80
10	34,70	34,92
15	34,90	34,86
20	34,65	34,88
25	34,84	34,92
30	34,86	34,80
35	34,82	34,90
40	34,80	34,90
45	34,80	34,80
50	35,00	35,00

Tabel 4. Analisis ragam untuk suhu pada panjang permukaan rak 25 cm antar arah  $z = 12$  cm dengan  $z = 24$  cm

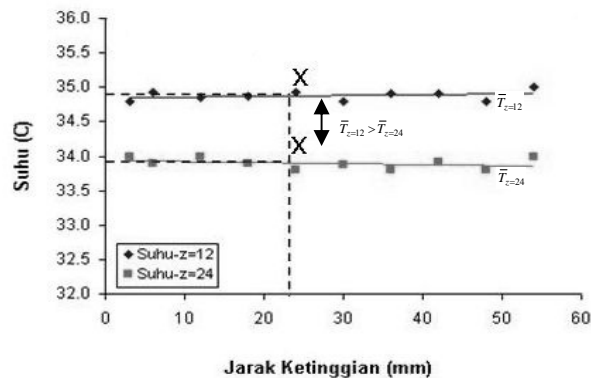
Sumber Keragaman	db	Jumlah Kuadrat	Kuadrat Tengah	F Hitung	F Tabel ( $\alpha = 0,05$ )
Perlakuan suhu	1	0,027	0,027	3,421	4,38
Antar $z=12$ cm dan $z=24$ cm	18	0,140	0,008		
Total	19	0,167			

Dari tabel diatas dimana nilai F hitung lebih kecil dari F tabel pada tingkat signifikan 95%, ini menunjukkan suhu antara  $z = 12$  cm dengan  $z = 24$  cm pada panjang permukaan rak 50 cm tidak berbeda. Perbandingan distribusi suhu untuk lebar rak 12 cm dan 24 cm untuk panjang permukaan rak 25 cm, disajikan dalam Gambar 13.



Gambar 8. Perbedaan suhu rata-rata terhadap lebar rak 12 cm dan 24 cm untuk panjang rak 25 cm

Pada panjang rak 50 cm, perbedaan suhu antara lebar rak 12 cm dengan lebar rak 24 cm disajikan dalam Gambar 9. Seperti yang telah dijelaskan di atas pada uji beda nyata, dengan uji F dimana untuk panjang permukaan rak 50 cm, pada taraf uji signifikan 95% untuk lebar rak 12 cm dan 24 cm untuk suhu tidak berbeda nyata. Sedangkan dari data perbedaan yang ada dapat disebabkan oleh faktor kebetulan atau kekurangtelitian dalam pengambilan data.



Gambar 9. Perbedaan suhu rata-rata terhadap lebar rak 12 cm dan 24 cm untuk panjang rak 50 cm

**KESIMPULAN**

Suhu yang optimal akan memberikan hasil produk kering yang prima. Analisis CFD yang dilakukan dalam penelitian ini menggambarkan profil aliran udara, yaitu distribusi suhu udara pengering. Hasil simulasi CFD menggambarkan beberapa pola aliran distribusi suhu yang disebabkan oleh posisi panjang permukaan bahan dalam rak pengering serta lebar rak pengering yang digunakan. Secara keseluruhan simulasi CFD memberikan gambaran pola aliran udara mendekati kenyataan dalam percobaan yang dilakukan.

Kadar air akhir gabah dari percobaan 1 untuk panjang permukaan rak 50 cm adalah 14,80% (bb) dan percobaan 2 adalah 14,57% (bb), kondisi udara pada aliran bebas dari kedua percobaan sama. Sedangkan untuk percobaan 3 dan percobaan 4 masing-masing nilai kadar air akhir gabah adalah 14,63% (bb) dan 14,52% (bb).

Suhu udara dalam ruang pengering masih tidak seragam, terutama untuk kecepatan udara yang lebih tinggi, dimana perbedaan antara panjang rak (arah x) dan lebar (arah z) memberikan perbedaan yang cukup nyata pada tingkat keyakinan 95% ( $\alpha = 5\%$ ). Suhu

pada panjang rak 25 cm, perbedaan antara lebar rak 12 cm dan 24 cm tidak terdapat perbedaan yang nyata pada tingkat keyakinan 95%. Perbandingan antara panjang rak 50 cm dan 25 cm untuk suhu pada lebar rak 12 cm memberikan perbedaan yang sangat nyata pada tingkat keyakinan 99% ( $\alpha = 1\%$ ). Namun demikian pada percobaan untuk lebar rak pengering 12 cm dan panjang permukaan rak pengering 50 cm menunjukkan hasil distribusi kecepatan yang relatif seragam dengan kisaran kecepatan antara 0,18 m/dt sampai 0,21 m/dt dan kisaran suhu 34°C sampai 34,8°C.

**DAFTAR PUSTAKA**

Abdullah, K., (1993), *System Optimization in Solar Drying*, The 5th International Energy Conference, ENERGEX'93, Seoul, Oct.18-22.

Abdullah, K., (2002), *Fish Drying Using Solar Energy*, Regional Work Shop on Drying Technology, Bangkok April 22-26, 2002, ASEAN Sub Committee on Non Conventional Energy Research, Bangkok.

Bird, R.B., W.E. Stewart and E.N. Lightfoot, (1966), *Transport Phenomena*, Jhon Wiley and Sons, Inc. New York.

Geankoplis, C.J., (1983), *Transport Processes and Unit Operations*, Second edition, Allyn and Bacon Series in Engineering, Boston, London.

Giner, S.A. and D.M. Bruce, (1998), Two-Dimensional Simulation Model of Steady-state Mixed-flow Grain Drying Part 2 : Experimental Validation, *J.Agric. Engng Res.*, 71, pp 51-66 artical No. ag980298.

Hamzirwan, (2007), *Harian Kompas*, 13 April 2007. hal.21.

Holman, J.P., (1981), *Heat Transfer*, Fifth edition, McGraw-Hill, Kogakhusa, Ltd., Tokyo.

Huang, L., Kumar, K., and Mujumdar A.S., (2004), *Computational fluid dynamics simulation of spray drying using different models for the falling rate period*, 14th International Drying Symposium, (IDS 2004), Sao Paulo, Brazil, August 22-25, 2004.

Versteeg, H.K. and W. Malalasekera, (1995), *An Introduction to Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method*, Longman Sc & Technical, Malaysia.