

**SIMULASI PENGARUH KECEPATAN PUTAR BLADE  
TERHADAP KECEPATAN PENGERINGAN DALAM ALAT  
PENGERING PENGADUK BILAH (*BLADED MIXER-FOUR  
BLADES*)**

**Skripsi**



**Disusun Oleh:**

**I Wayan Raditya Eka Putra**

**3331190097**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN  
2023**

**SIMULASI PENGARUH KECEPATAN PUTAR BLADE  
TERHADAP KECEPATAN PENGERINGAN DALAM ALAT  
PENGERING PENGADUK BILAH (*BLADED MIXER-FOUR  
BLADES*)**

**Skripsi**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Menyelesaikan Strata-1 (S1)  
Pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



**Disusun Oleh:**

**I Wayan Raditya Eka Putra  
3331190097**

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN  
2023**

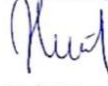
No : 007/UN.43.3.1/PK.03.08/2024

**TUGAS AKHIR****Simulasi Pengaruh Kecepatan Putar Blade Terhadap Kecepatan Pengeringan Dalam Alat Pengering Pengaduk Bilah (Bladed Mixer-Four Blades)**

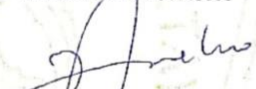
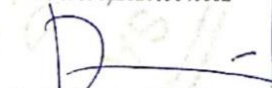
Dipersiapkan dan disusun oleh:

**I Wayan Raditya Eka Putra**  
3331190097telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 19 Desember 2023

Pembimbing Utama

Hadi Wahyudi, MT., Ph.D  
NIP. 197101162002121001

Anggota Dewan Penguji

Dr. Eng. Agung Sudrajad, ST., M.Eng.  
NIP. 197505132014041001Dr. Mekro Permana Pinem, ST., MT.  
NIP. 198902262015041002Dr. Dwinanto, ST., MT.  
NIP. 198301122008121001Hadi Wahyudi, MT., Ph.D.  
NIP. 197101162002121001**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**Tanggal, 17 Januari 2024  
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertandatangan di bawah ini,

Nama : I Wayan Raditya Eka Putra

NPM : 3331190097

Judul : Simulasi Pengaruh Kecepatan Putar Blade Terhadap Kecepatan Pengeringan Dalam Alat Pengering Pengaduk Bilah (*Bladed Mixer-Four Blades*)

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

### MENYATAKAN

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya

Cilegon, 29 Desember 2023



**I Wayan Raditya Eka Putra**

**NPM. 3331190097**

## KATA PENGANTAR

Pertama-tama puji dan syukur penulis panjatkan atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul “SIMULASI PENGARUH KECEPATAN PUTAR BLADE TERHADAP KECEPATAN PENGERINGAN DALAM ALAT PENGERING PENGADUK BILAH (*BLADED MIXER-FOUR BLADES*)”. Tugas akhir merupakan salah satu syarat wajib yang harus ditempuh oleh setiap mahasiswa S-1 Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dan laporan tugas akhir ini adalah syarat untuk menyelesaikannya.

Dalam penulisan laporan tugas akhir ini penulis mendapatkan banyak bimbingan dan juga bantuan dari banyak pihak baik yang terlibat langsung maupun pihak yang mendukung dalam penulisan laporan tugas akhir ini. Oleh karena itu pada kesempatan kali ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan tugas akhir dan penyusunan laporan ini, khususnya:

1. Tuhan Ida Sang Hyang Widhi Wasa yang telah memberikan kekuatan, kesabaran, dan karunia-Nya sehingga dapat berjalan dengan lancar.
2. Kedua orang tua dan keluarga yang telah memberikan dukungan dalam bentuk apapun kepada penulis.
3. Bapak Dhimas Satria, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
4. Bapak Hadi Wahyudi S.T., M.T, Ph.D selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penulisan laporan tugas akhir ini.
5. Ibu Miftahul Jannah S.T., M.T. selaku koordinator tugas akhir Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
6. Ibu Shofiatul Ula, S.PD.I., M.Eng selaku dosen pembimbing akademik yang selalu memberi arahan dan bantuan selama perkuliahan dari semester satu hingga saat ini

7. Seluruh staff dan jajaran dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
8. Teman-teman dari jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
9. Teman-teman dari jurusan Teknik Mesin angkatan 2019 Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam bentuk apapun.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan tugas akhir hingga penulisan laporan tugas akhir yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna, oleh karena itu saran dan masukan yang membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan laporan di masa mendatang. Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan menambah wawasan bagi pembaca. Akhir kata penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan untuk membalas kebaikan dari semua pihak yang telah membantu.

Serang, 15 Oktober 2023

Penulis

## ABSTRAK

### SIMULASI PENGARUH KECEPATAN PUTAR BLADE TERHADAP KECEPATAN PENGERINGAN DALAM ALAT PENGERING PENGADUK BILAH (*BLADED MIXER-FOUR BLADES*)

I WAYAN RADITYA EKA PUTRA

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Pada tahun 2022 laju pertumbuhan penduduk Indonesia naik sebesar 1,17%, Dari kenaikan jumlah populasi masyarakat Indonesia tentunya kebutuhan pangan akan meningkat pula seperti contohnya beras. secara kualitas beras impor jauh lebih bagus dibandingkan dengan beras lokal. Lalu jika dibandingkan dengan harga, beras impor memiliki harga yang jauh lebih murah dari beras lokal. Hal tersebut bisa terjadi karena Indonesia memiliki biaya produksi yang lebih mahal sehingga dibutuhkan alat pengering yang efisien. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efek yang ditimbulkan dari variasi kecepatan putar *blade* pada sebuah alat pengering. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan sebuah simulasi CFD-DEM dengan variasi kecepatan putar 0,1 rad/s, 0,3 rad/s, dan 0,5 rad/s. berdasarkan karakteristik aliran partikel pada detik 10 menunjukkan bahwa variasi 0,5 rad/s memiliki hasil arah putaran yang seragam dibandingkan variasi 0,1 rad/s. lalu untuk karakteristik perpindahan panas partikel variasi 0,1 rad/s pada detik 10 menghasilkan rentang temperature sebesar 301,136-302,727 °K sedangkan pada variasi 0,5 rad/s rentang rata-rata temperature yang dihasilkan adalah sebesar 302,727-303,364 °K. lalu *moisture content* yang dihasilkan variasi 0,1 rad/s pada detik 10 adalah sebesar 24,8%-23,9% sedangkan pada variasi 0,5 nilai yang didapatkan sebesar 23,4%-23,1%. Dari hasil simulasi yang didapatkan dapat disimpulkan bahwa variasi kecepatan putar *blade* dapat mempengaruhi hasil pengeringan yang didapatkan dalam sebuah alat pengering.

**Kata Kunci:** ANSYS, *Flatbed Dryer*, *Moisture Content*, Padi, Simulasi CFD-DEM

## ABSTRACT

### SIMULATION OF THE EFFECT OF BLADE ROTATION SPEED ON DRYING SPEED IN A BLADED MIXER-FOUR BLADES DRYER

**I WAYAN RADITYA EKA PUTRA**

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,  
Sultan Ageng Tirtayasa University

in 2022 Indonesia's population growth rate will increase by 1.17%. From the increase in the population of Indonesian people, of course the need for food will also increase, for example rice. In terms of quality, imported rice is much better than local rice. Then when compared with prices, imported rice is much cheaper than local rice. This can happen because Indonesia has more expensive production costs, so efficient drying equipment is needed. The aim of this research is to determine the effects caused by variations in blade rotational speed on a dryer. This research was carried out using a CFD-DEM simulation with variations in rotational speed of 0.1 rad/s, 0.3 rad/s, and 0.5 rad/s. Based on the characteristics of the particle flow at 10 seconds, it shows that a variation of 0.5 rad/s has a uniform rotation direction compared to a variation of 0.1 rad/s. then for the particle heat transfer characteristics, variations of 0.1 rad/s at 10 seconds produce a temperature range of 301,136-302,727 °K, while with variations of 0.5 rad/s the average temperature range produced is 302,727-303,364 °K. then the moisture content produced by a variation of 0.1 rad/s at 10 seconds is 24.8%-23.9%, while with a variation of 0.5 the value obtained is 23.4%-23.1%. From the simulation results obtained, it can be concluded that variations in blade rotational speed can influence the drying results obtained in a dryer

**Kata Kunci:** ANSYS, *Flatbed Dryer*, *Moisture Content*, Padi, Simulasi CFD-DEM



## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	iii
<b>LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>ABSTRAK</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 <i>State Of The Art</i> .....	5
2.2 CFD ( <i>Computational Fluid Dynamics</i> ) .....	6
2.2.1 Proses Simulasi CFD .....	9
2.3 DEM ( <i>Discrete Element Method</i> ) .....	10
2.4 Gabungan CFD-DEM .....	10
2.5 Definisi Pengeringan .....	12
2.6 Jenis-Jenis Pengeringan .....	14
2.7 Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Pengeringan .....	16
2.8 <i>Flat Bed Dryer (FBD)</i> dan Prinsip Kerjanya .....	17
2.9 Permodelan CFD-DEM Pada <i>Flat Bed Dryer</i> .....	18

2.10 Interaksi Partikel Fluida Pada <i>Flat Bed Dryer</i> .....	20
---	----

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Diagram Alir Penelitian .....	25
3.2 CFD-DEM .....	29
3.3 Pengaplikasian DEM Dalam <i>Flat Bed Dryer</i> .....	29
3.4 Sifat Partikel Dan Parameter DEM Yang Digunakan.....	31
3.5 ANSYS Fluent .....	33
3.6 Diagram Psikometrik .....	33
3.7 Waktu dan Tempat Pelaksanaan .....	36

### **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Analisa Karakteristik Aliran .....	37
4.1.1 Gas .....	37
4.1.2 Partikel.....	40
4.2 Analisa Karakteristik Perpindahan Panas .....	43
4.2.1 Gas .....	43
4.2.2 Partikel.....	46
4.3 Analisa Karakteristik Perpindahan Massa .....	51
4.3.1 Gas .....	52
4.3.2 Partikel.....	55

### **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Kesimpulan .....	65
5.2 Saran .....	66

### **DAFTAR PUSTAKA**

### **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. <b>Gambar 2.1</b> Contoh <i>Meshing</i> Pada Benda Uji .....	7
2. <b>Gambar 2.2</b> Hasil Penggunaan CFD .....	8
3. <b>Gambar 2.3</b> Hasil Penggunaan DEM .....	10
4. <b>Gambar 2.4</b> Penggabungan CFD-DEM .....	12
5. <b>Gambar 2.5</b> Pengeringan.....	13
6. <b>Gambar 2.6</b> Dampak Pengeringan Pada Bahan Makanan .....	13
7. <b>Gambar 2.7</b> Pengeringan Alami.....	14
8. <b>Gambar 2.8</b> Pengeringan Buatan .....	15
9. <b>Gambar 2.9</b> Pengering Sistem Kontinyu.....	16
10. <b>Gambar 2.10</b> Pengering Sistem <i>Batch</i> .....	16
11. <b>Gambar 2.11</b> <i>Flat Bed Dryer</i> .....	18
12. <b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian .....	25
13. <b>Gambar 3.2</b> Susunan Partikel Pada <i>Flat Bed Dryer</i> .....	30
14. <b>Gambar 3.3</b> Hasil Efektivitas Pencampuran Partikel <i>Prolate</i> .....	32
15. <b>Gambar 3.4</b> Diagram Psikometrik Simulasi .....	34
16. <b>Gambar 4.1</b> Bentuk Asli Partikel Padi Pada Alat Pengering .....	37
17. <b>Gambar 4.2</b> Karakteristik Aliran Gas Variasi 0,1 rad/s .....	38
18. <b>Gambar 4.3</b> Karakteristik Aliran Gas Variasi 0,3 rad/s .....	39
19. <b>Gambar 4.4</b> Karakteristik Aliran Gas Variasi 0,5 rad/s .....	40
20. <b>Gambar 4.5</b> Karakteristik Aliran Partikel Variasi 0,1 rad/s .....	41
21. <b>Gambar 4.6</b> Karakteristik Aliran Partikel Variasi 0,3 rad/s .....	42
22. <b>Gambar 4.7</b> Karakteristik Aliran Partikel Variasi 0,5 rad/s .....	42
23. <b>Gambar 4.8</b> Karakteristik Perpindahan Panas gas Variasi 0,1 rad/s .....	44
24. <b>Gambar 4.9</b> Karakteristik Perpindahan Panas gas Variasi 0,3 rad/s .....	45
25. <b>Gambar 4.10</b> Karakteristik Perpindahan Panas gas Variasi 0,5 rad/s.....	46
26. <b>Gambar 4.11</b> Karakteristik Perpindahan Panas Partikel 0,1 rad/s .....	47
27. <b>Gambar 4.12</b> Karakteristik Perpindahan Panas Partikel 0,3 rad/s .....	48

28. <b>Gambar 4.13</b> Karakteristik Perpindahan Panas Partikel 0,5 rad/s .....	49
29. <b>Gambar 4.14</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Heat Transfer Coefficient</i> .....	50
30. <b>Gambar 4.15</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Temperature</i> .....	50
31. <b>Gambar 4.16</b> Karakteristik Kelembaban gas Variasi 0,1 rad/s.....	52
32. <b>Gambar 4.17</b> Karakteristik Kelembaban gas Variasi 0,3 rad/s.....	53
33. <b>Gambar 4.18</b> Karakteristik Kelembaban gas Variasi 0,5 rad/s.....	54
34. <b>Gambar 4.19</b> Karakteristik Aliran Laju Perpindahan Massa 0,1 rad/s .....	56
35. <b>Gambar 4.20</b> Karakteristik Aliran Laju Perpindahan Massa 0,3 rad/s .....	57
36. <b>Gambar 4.21</b> Karakteristik Aliran Laju Perpindahan Massa 0,5 rad/s .....	58
37. <b>Gambar 4.22</b> <i>Moisture Content</i> Variasi 0,1 rad/s .....	59
38. <b>Gambar 4.23</b> <i>Moisture Content</i> Variasi 0,3 rad/s .....	60
39. <b>Gambar 4.24</b> <i>Moisture Content</i> Variasi 0,5 rad/s .....	61
40. <b>Gambar 4.25</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Mass Transfer Coefficient</i> .....	62
41. <b>Gambar 4.26</b> Grafik Perbandingan Nilai <i>Moisture Content</i> .....	63
42. <b>Gambar 4.27</b> Hasil Penelitian Mustofa.....	64

## DAFTAR TABEL

	Halaman
1. <b>Tabel 3.1</b> Sifat Partikel dan Parameter DEM.....	31

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Di zaman modern ini tentu saja pertumbuhan populasi masyarakat di Indonesia meningkat dengan cukup pesat, tercatat pada tahun 2022 laju pertumbuhan penduduk Indonesia sebesar 1,17% (Badan Pusat Statistik, 2022). Dari kenaikan jumlah populasi masyarakat Indonesia tentunya kebutuhan pangan akan meningkat pula seperti contohnya beras. Pada tahun 2022 produksi gabah kering panen (GKP) mengalami peningkatan sebesar 0,43%. Karena jumlah bahan pangan yang harus didistribusikan cukup banyak dan menyebar maka dibutuhkannya solusi supaya bahan pangan tersebut tetap awet salah satunya dengan cara dikeringkan.

Menurut Budi Waseso selaku direktur utama perum BULOG pada tahun 2022, secara kualitas beras impor jauh lebih bagus dibandingkan dengan beras lokal. Lalu jika dibandingkan dengan harga, beras impor memiliki harga yang jauh lebih murah dari beras lokal. Hal tersebut bisa terjadi karena Indonesia memiliki biaya produksi yang lebih mahal dibandingkan dengan negara lain sehingga harga beras lokalpun ikut naik. Sewa lahan serta biaya tenaga kerja menjadi salah satu faktor melonjaknya harga produksi beras di Indonesia.

Melihat alasan diatas dapat disimpulkan bahwa jika proses pengeringan masih dilakukan dengan cara penjemuran dibawah sinar matahari, maka biaya produksi akan tetap dan akan semakin tinggi karena proses pengeringan adalah proses yang sangat penting dalam produksi beras serta memakan lebih banyak waktu. pengeringan dengan metode panas matahari memiliki beberapa kekurangan salah satunya yaitu sangat tergantung dengan cuaca. Sehingga, Jika cuaca buruk maka padi akan lebih lama untuk dikeringkan dan berdampak pada biaya produksi yang lebih mahal. Selain itu semakin lama padi dikeringkan maka akan semakin berkurang kualitas dari padi tersebut.

Pengeringan itu sendiri adalah teknik atau cara agar dapat menurunkan kadar air yang dimiliki oleh suatu bahan sampai batas tertentu untuk mencegah atau memperlambat laju kerusakan yang disebabkan oleh pengaruh biologis dan kimia pada suatu bahan (Rimadhani, 2022). Proses pengeringan ini juga memiliki kelebihan seperti mempermudah proses pengemasan bahan serta mempermudah proses pengangkutan bahan pangan.

Namun, seperti yang kita ketahui bersama bahwa bahan pangan itu mempunyai bentuk yang berbeda beda contohnya biji rami (oblate), kacang hijau (bulat), dan padi (prolate). Menurut (Supriyono, 2003) salah satu faktor dari proses pengeringan adalah luas permukaan dari bahan yang akan dikeringkan. Tentu saja baik bentuk oblate, bulat, dan prolate memiliki luas permukaan yang berbeda beda sehingga bentuk dari bahan berpengaruh pada proses pengeringan.

Lalu faktor kedua yang mempengaruhi dalam proses pengeringan adalah kecepatan aliran udara pada mesin pengering. pada penelitian yang dilakukan oleh (Syahrul et al., 2017) tentang pengaruh kecepatan udara dan massa gabah terhadap kecepatan pengeringan, menyatakan bahwa variasi kecepatan udara dan massa gabah berpengaruh terhadap waktu pengeringan gabah. Dan menurut penelitian pada pengeringan jagung pipilan yang dilakukan oleh (Alit & Susana, 2020) dengan perlakuan awal yang sama dan dengan waktu selama 240 menit, pada kecepatan udara 2 m/s diperoleh kadar air sebesar 3 % sedangkan pada kecepatan udara 3 m/s didapatkan kadar air sebesar 2,5 %.

Penelitian tentang efek yang ditimbulkan dari sudut blade alat pengering pada bahan telah dilakukan oleh (Afrizal Tegar Oktianto, 2014) dimana hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa blade dengan kemiringan 10° lebih efektif untuk mengeringkan dibanding dengan kemiringan blade 20° dan 30°.

Dari penelitian penelitian di atas belum ada yang secara spesifik meneliti tentang pengaruh jumlah blade pada pengeringan bahan dengan bentuk tertentu. Karna yang sudah disebutkan sebelumnya bahwasannya bentuk bahan mempengaruhi dari segi luas permukaan dan jumlah blade

mempengaruhi dari efektifitas pencampuran dan pengadukan bahan pangan. Hal tersebut yang mendasari penulis untuk melakukan penelitian “*Simulasi Pengaruh Kecepatan Putar Blade Terhadap Kecepatan Pengeringan Dalam Alat Pengering Pengaduk Bilah (Bladed Mixer-Four Blades)*”

## 1.2 Perumusan Masalah

Berikut ini adalah rumusan masalah yang dibahas dalam penelitian ini sesuai dengan latar belakang penelitiannya:

1. Bagaimana pengaruh putaran blade terhadap fenomena gerakan padi di dalam *bladed mixer*?
2. Bagaimana pengaruh putaran blade terhadap perpindahan panas di dalam *bladed mixer*?
3. Bagaimana pengaruh putaran blade terhadap proses perpindahan massa (kecepatan Pengeringan) di dalam *bladed mixer*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui dan mempelajari pengaruh putaran blade terhadap fenomena gerakan padi di dalam *bladed mixer*
2. Mengetahui dan mempelajari pengaruh putaran blade terhadap perpindahan panas di dalam *bladed mixer*
3. Mengetahui dan mempelajari pengaruh putaran blade terhadap proses perpindahan massa (kecepatan pengeringan) di dalam *bladed mixer*

## 1.4 Manfaat Penelitian

Tentu saja penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang besar bagi masyarakat luas. berikut ini adalah manfaat dari penelitiannya:

1. Penelitian ini dapat menyediakan informasi yang lebih lengkap untuk perancangan alat pengering yang lebih baik lagi



2. Penelitian ini dapat menjadi acuan untuk penelitian di masa yang akan datang

### **1.5 Batasan Masalah**

Supaya pada penelitian kali ini dapat berjalan dengan terarah sesuai dengan objek dan hasil yang ingin dianalisa, maka ruang lingkup pembahasan dibatasi dengan hal-hal berikut:

1. Simulasi yang akan digunakan pada penelitian kali ini menggunakan metode CFD yang di-*couple* dengan DEM (*Computational Fluid Dynamics-Discrete Element Method*)
2. Geometri dari partikel yang digunakan pada penelitian kali ini adalah prolate (padi)
3. Bentuk *reactor* dari *bladed mixer* yang digunakan adalah silinder
4. Jumlah blade yang digunakan dibatasi sebanyak empat buah

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *State Of The Art*

Dimasa lampau, sebuah penelitian yang membahas tentang analisa pengeringan partikel menggunakan metode CFD-DEM telah dilakukan oleh Jeni Tri Hartanti pada tahun 2022. Salah satu tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk memahami pengaruh kecepatan udara *inlet* terhadap perpindahan panas pada proses pengeringan partikel biji padi. Penelitian terhadap pengeringan partikel tersebut dilakukan dengan latar belakang permasalahan dalam pendistribusian bahan pangan di Indonesia.

Hasil yang didapatkan pada penelitian tersebut salah satunya adalah nilai perpindahan panas konveksi fluida-partikel mencapai lebih dari 0,09 J/s pada variasi kecepatan udara masuk 3 m/s dan temperature partikel diatas 321 °K. sehingga dapat disimpulkan bahwa kecepatan udara *inlet* mempengaruhi perpindahan panas pada proses pengeringan partikel.

Sebuah penelitian berjudul *numerical studies of mixing of ellipsoidal particles in a bladed mixer* yang dibuat oleh (Herman et al., 2022) meneliti tentang pencampuran partikel berbentuk ellipsoid dalam sebuah mixer berbilah menggunakan sebuah metode elemen diskrit. Pada penelitian kali ini menggunakan tiga bentuk partikel yaitu oblate, bulat, dan prolate. Hasil dari penelitian ini adalah partikel berbentuk oblate mempunyai kualitas pencampuran yang sangat buruk dibandingkan dengan bentuk yang lain, lalu partikel berbentuk bulat lebih cepat bercampur jika dibandingkan dengan prolate. Dari proses pencampuran partikel tersebut disimpulkan juga bahwa torsi dari pengaduk bilah memiliki peran yang cukup penting dalam proses pencampuran.

Penelitian yang telah dilakukan oleh (Syahrul et al., 2017) tentang pengaruh kecepatan udara dan massa gabah terhadap pengeringan gabah juga menjadi acuan dalam melakukan penelitian ini. Dimana pada peneltian tersebut didapatkan kesimpulan bahwasannya variasi kecepatan udara pada

proses pengeringan gabah sangatlah berpengaruh pada waktu pengeringan, semakin cepat udara yang masuk maka akan semakin cepat pula proses pengeringannya. Penelitian yang serupa juga dilakukan oleh (Alit & Susana, 2020) dimana pada penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa dengan waktu 240 menit, kecepatan udara *inlet* sebesar 2 m/s menghasilkan kadar air pada jagung sebesar 3 %, sedangkan pada kecepatan 3 m/s kadar air yang didapatkan yaitu sebesar 2,5%

Lalu pada sebuah mixer pengaduk bilah tentu saja bilah pengaduk menjadi salah satu faktor yang menentukan dapat proses pengeringan. (Afrizal Tegar Oktianto, 2014) melakukan penelitian tentang efek pengeringan yang ditimbulkan dari sudut bilah. Dimana hasil yang didapatkan menyatakan bahwa sudut bilah dapat menjadi faktor dalam proses pengeringan, pada sudut 10° *moisture content* yang dihasilkan sebesar 6,8%, pada sudut 20° sebesar 7,6 %, dan pada sudut 30° dihasilkan sebesar 8 %.

Lalu sebuah penelitian yang dilakukan oleh (Mustofa, 2021) pada sebuah *rotary dryer* yang bertujuan untuk mengeringkan 10 kg padi dengan poros pengaduk menghasilkan sebuah kesimpulan. Kesimpulan tersebut adalah kadar air yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh putaran poros pengaduk. Pada variasi 10 rpm dengan suhu 55°C dihasilkan kadar air sebesar 14,9 %, sedangkan pada variasi 20 rpm dengan suhu yang sama dihasilkan kadar air sebesar 13,4 %

Berdasarkan referensi dari literature nasional maupun internasional yang sudah disebutkan sebelumnya sebagai acuan. Penelitian kali ini akan berfokus pada pengaruh putaran alat pengering pengaduk bilah dengan jumlah empat blade pada gerakan, perpindahan panas, dan pindahan massa partikel berbentuk prolate (padi) dengan tujuan untuk mencari rancangan alat pengering yang efektif untuk membantu petani dalam menurunkan harga produksi pada proses pengeringan padi.

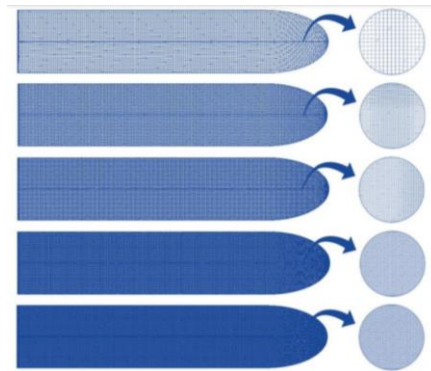
## 2.2 CFD (*Computational Fluid Dynamics*)

*Computational fluid dynamics* atau yang biasa disingkat dengan CFD adalah sebuah simulasi dengan berbasis computer (*numeric*) yang memiliki

banyak cangkupan contohnya yaitu perpindahan panas dan aliran fluida pada suatu sistem (Jalaluddin et al., 2020). Dari pemanfaatan CFD ini bisa didapatkan informasi tentang aliran fluida yang berjalan pada suatu sistem sehingga kita dapat menentukan langkah selanjutnya yang akan dilakukan pada fluida tersebut (Widiawaty et al., 2016)

Pengertian dari CFD menurut (Lomax et al., 2001) merupakan sebuah cara yang digunakan untuk mengetahui fenomena fisis yang terjadi pada suatu benda yang disimulasikan. Karena fenomena itu bersifat non-linear dan tidak memiliki solusi analitik maka CFD adalah pilihan yang tepat karena hasil yang dikeluarkan merupakan solusi numeris.

Menurut (Azzamudin & Effendy, 2017) metode CFD ini melakukan perhitungan secara komputasi pada tiap elemen pembagiannya dengan sebuah control dimensi, luas, dan volume. Singkatnya, sebuah benda uji coba berisikan fluida yang disimulasikan dengan CFD akan dilakukan perhitungan dengan cara dibagi menjadi beberapa bagian atau biasa disebut dengan *meshing*, sehingga bagian-bagian tersebut yang menjadi control pada perhitungan yang dilakukan.

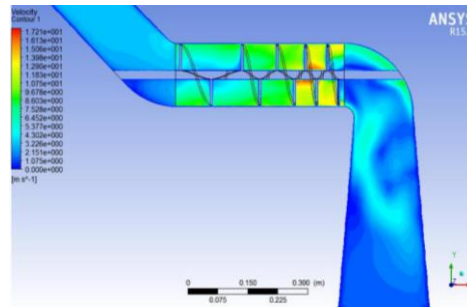


**Gambar 2.1** Contoh *Meshing* Pada Benda Uji

(Sumber: Ibrahim Ahmad Ibadurrohman, Nurkholis Hamid, 2021)

Perangkat lunak (*software*) CFD ini memiliki *output* berupa data-data, kurva, dan gambar yang merupakan prediksi yang akan terjadi pada benda uji tersebut. karena, *software* CFD ini dapat membuat sebuah prototype dalam bentuk virtual sesuai dengan kondisi dan bentuk alat yang ingin dilakukan proses simulasi. Ketepatan dari data-data yang didapatkan tersebut dibentuk

oleh seberapa banyak jumlah sel di dalam grid. Semakin kecil jumlah sel di dalam grid maka ketelitian hasil pemecahan semakin buruk begitupun sebaliknya (TRI HARTANTI, 2022).



**Gambar 2.2** Hasil Penggunaan CFD

(Sumber: Luthfie, 2017)

Menurut (IRAWAN, 2017) di zaman sekarang penggunaan aplikasi CFD sudah sangat banyak diterapkan kepada proses pembuatan desain mesin, ruang pembakaran, dan gas turbin. Karena, aplikasi CFD ini menganalisis aliran fluida, reaksi kimia, dan perpindahan panas menggunakan simulasi computer. Sebenarnya aplikasi CFD ini mengganti persamaan differensial parsial dari energy, momentum dan kontinuitas menjadi sebuah persamaan aljabar karena persamaan yang dimiliki fluida dianalisis berdasarkan persamaan differensial parsial

Hasil analisa dari penggunaan aplikasi CFD ini dapat dibagi menjadi 2 jenis yaitu berupa prediksi kualitatif maupun prediksi kuantitatif. Hasil analisa CFD tersebut tergantung dari data-data yang diinput serta persoalan yang digunakan. Tentunya dalam penggunaan CFD ini akan mendapatkan beberapa keuntungan seperti sebagai berikut:

1. Dapat memprediksi secara menyeluruh (*Foresight*)

CFD adalah sebuah aplikasi yang dibuat dengan tujuan dapat memprediksi hal-hal yang akan terjadi pada benda uji secara menyeluruh dan, karena dapat memprediksi banyak hal secara menyeluruh sehingga dapat segera menentukan desain secara optimal.

2. Mendapatkan pemahaman lebih dalam (*Insight*)

Beberapa alat uji sulit untuk dibuat prototipenya sehingga tidak adanya hasil pengujian yang didapatkan. CFD mampu mendesain sistem atau

alat uji tersebut secara virtual sehingga dapat dilakukan pengujian secara komputasi sehingga didapatkan data-data yang diinginkan

3. Lebih efisiensi dari segi waktu dan biaya (*Efficiency*)

Salah satu keuntungan utama dari penggunaan aplikasi CFD adalah tidak memerlukan biaya yang besar serta memiliki efisiensi waktu yang sangat baik. CFD itu sendiri adalah aplikasi untuk memprediksi apa saja yang akan terjadi pada sebuah alat atau sistem. (TRI HARTANTI, 2022)

### 2.2.1. Proses Simulasi CFD

Dalam memakai aplikasi CFD terdapat tiga tahapan yang harus dilakukan dalam proses simulasi CFD yaitu sebagai berikut :

1. *Preprocessing*

*Preprocessing* adalah sebuah tahapan untuk memasukan data-data yang akan digunakan dalam simulasi CFD dimulai dari mendefinisikan domain serta menentukan kondisi batas. Pada tahapan ini dibuat pula sebuah model benda uji dalam paket CAD (*Computer aided design*), dan membuat *mesh* atau membagi ruangan yang akan dianalisa menjadi beberapa bagian. (Azzamudin & Effendy, 2017)

2. *Processing*

Menurut (Krisnanda et al., 2020) *processing* adalah tahapan penghitungan data input dengan persamaan yang terlibat sehingga mencapai nilai yang konvergen atau hingga menuju error terkecil.

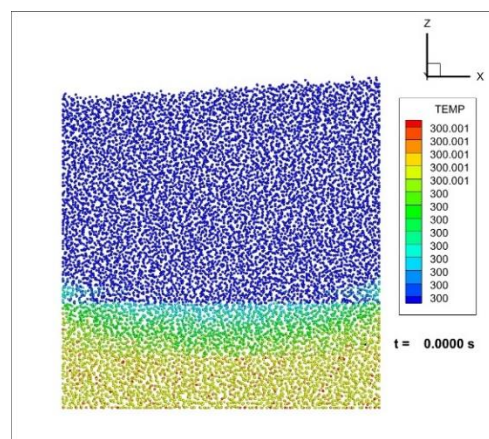
3. *Postprocessing*

*Postprocessing* adalah tahapan terakhir dalam proses simulasi CFD dimana perhitungan diinterpretasikan menjadi sebuah *output* gambar, grafik, hingga sebuah animasi dengan warna yang memiliki artinya masing-masing. Di zaman yang sudah modern ini proses *postprocessing* menjadi semakin baik lagi karna kemajuan *workstation* teknik yang memiliki kemampuan visualisasi grafik yang sangat baik. (INSYI, 2019)

### 2.3 DEM (*Discrete Element Method*)

*Discrete element method* atau yang biasa disingkat dengan DEM adalah sebuah simulasi menggunakan sebuah teknik komputasi computer yang memungkinkan untuk menganalisis tentang butiran pada suatu bahan pada jumlah banyak yang berinteraksi satu sama lain dengan peralatan dalam berbagai kondisi dan proses. Interaksi butiran yang dianalisis antara lain proses tumbukan, perpindahan panas, dan pemanfaatan energi. (Kurniawan & Kusnat, 2017)

Menurut (IRAWAN, 2017) informasi atau *output* yang akan diberikan dari penggunaan DEM ini adalah informasi yang dinamis yaitu kekuatan dan lintasan partikel. Model yang dimasukkan pada DEM akan menghasilkan partikel yang sesuai oleh sifat mekanik serta fisik material yang diteliti berdasarkan *input* yang diberikan pada model.



**Gambar 2.3** Hasil Penggunaan DEM  
(Dokumen Pribadi)

### 2.4 Gabungan CFD-DEM

Simulasi dengan cara menggabungkan CFD-DEM (*Computational Fluid Dynamics-Discrete Element Methode*) ini adalah sebuah studi numerik yang dinilai efektif sebagai metode untuk mempelajari aliran antara fluida dan juga partikel. Metode CFD-DEM dinilai efektif karena dapat memberikan informasi tentang mekanisme aliran fluida dan partikel secara menyeluruh dan dapat dilihat dari segala arah serta dapat memberikan gambaran dari

proses yang paling optimal sehingga mempermudah dalam pemahaman. (Zhu et al., 2007)

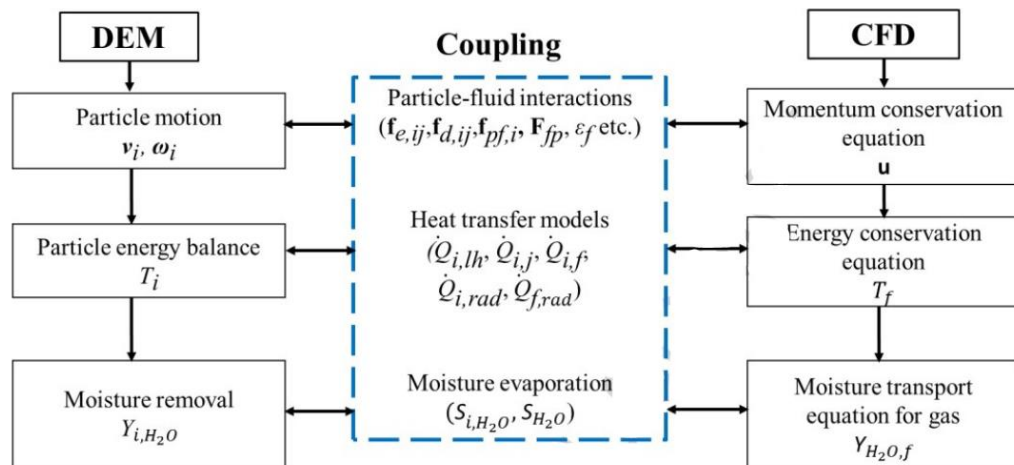
Dalam simulasi menggunakan CFD-DEM, aliran fluida diperlakukan sebagai fase kontinum lalu diselesaikan oleh persamaan Navier-Stokes pada skala sel komputasi dan gerakan partikel dimodelkan sebagai fase diskrit, dihitung dengan menggunakan hukum newton tentang gerak dalam skala partikel individual. *Output* dari permodelan diskrit dapat memberikan informasi yang dinamis, lalu dalam beberapa tahun terakhir penelitian tersebut telah berkembang pesat di seluruh dunia karena berkembang pula teknik DEM dan teknologi computer yang dimiliki di zaman ini. (Zhu et al., 2007)

Aliran dari sebuah butiran dalam ukuran partikel memiliki 2 jenis gerakan yaitu gerakan translasi dan rotasi. Pertukaran momentum dan energi pada aliran partikel didapatkan saat partikel berinteraksi dengan partikel yang berdekatan atau saat partikel berinteraksi dengan permukaan dan fluida disekitarnya. Menurut peneliti, bukan hanya torsi dan gaya yang mempengaruhi perpindahan partikel, akan tetapi juga dapat berasal dari hambatan perambatan gelombang partikel dan fluida yang lebih jauh (Xu & Yu, 1997).

Permodelan aliran solid pada aplikasi DEM berada pada level individual partikel, sedangkan aliran fluida pada aplikasi CFD berada pada level sel komputasi komputer. Gabungan antara CFD dan DEM dapat diartikan sebagai berikut (Xu & Yu, 1997), Informasi yang dimiliki oleh time step DEM antara lain posisi partikel dan kecepatan partikel, lalu kemudian dievaluasi porositas dan gaya drag fluida volumentrik dalam sel komputasi. Setelah itu CFD akan menggunakan data yang sudah didapatkan untuk menentukan dan menghitung medan aliran gas yang kemudian menghasilkan gaya drag fluida yang bekerja pada partikel. Gaya yang sudah didapatkan melalui CFD digabungkan dengan DEM akan menghasilkan sebuah informasi tentang gerak dari partikel. Meskipun berbeda-beda, penggabungan antara CFD dan DEM ini sudah dilakukan oleh banyak peneliti untuk menggabungkan dua fasa yang dimodelkan pada skala yang berbeda-beda.



Pada gambar 2.4 berikut ini dapat dilihat contoh penggabungan dari CFD-DEM (Wahyudi et al., 2013).



**Gambar 2.4** Penggabungan CFD-DEM

(Azmir et al., 2018)

## 2.5 Definisi Pengeringan

Pengertian dari pengeringan adalah sebuah teknik atau cara agar dapat menurunkan kadar air yang dimiliki oleh suatu bahan sampai batas tertentu. Tujuan dari mengurangi kadar air yang dimiliki oleh bahan makanan agar dapat memperlambat laju kerusakan dari pengaruh biologis dan kimia. Proses pengeringan dilakukan dengan cara mengalirkan udara panas pada bahan untuk menurunkan kelembaban udara. Karena kelembaban udara sudah menurun menyebabkan tekanan uap air dari bahan lebih besar daripada tekanan uap air di udara sehingga uap air dari bahan akan mengalir ke udara. (Rimadhani, 2022)

Pengertian dari pengeringan menurut (SHIDIQ, 2022) adalah proses pemindahan panas dan uap air yang dilakukan secara bersamaan yang dilakukan dalam sebuah media pengering. Terdapat dua fenomena penting dalam pengeringan yaitu air harus dikeluarkan dari dalam bahan dan panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan.



**Gambar 2.5** Pengerinan

(Sumber: SHIDIQ, 2022)

Selain bertujuan untuk mencegah terjadinya kerusakan pada bahan pangan saat disimpan, pengeringan juga dilakukan dengan tujuan untuk menurunkan biaya, mempermudah proses pengemasan, dan mempermudah proses pengangkutan. Terdapat beberapa faktor penting pada bahan yang mempengaruhi dalam proses pengeringan antara lain yaitu ukuran bahan, kadar air yang dimiliki, perbedaan suhu dan udara sekitar, kelembaban dan tekanan udara. Setelah dilakukan proses pengeringan akan terjadi beberapa perubahan pada bahan yaitu perubahan warna, aroma, dan tekstur yang dimiliki oleh bahan pangan seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.6 dibawah



**Gambar 2.6** Dampak Pengeringan Pada Bahan Makanan

(Sumber: [www.diadona.id](http://www.diadona.id))

## 2.6 Jenis-jenis Pengeringan

Proses pengeringan dibagi menjadi dua jenis yaitu jenis pengeringan alami dan pengeringan buatan berikut penjelasannya

### 1. Pengeringan alami

Menurut (Rimadhani, 2022) proses pengeringan alami dilakukan secara langsung dengan sumber panas yang berasal dari radiasi matahari, aliran udara panas, dan kelembaban atau bisa disebut dengan penjemuran. Sarana yang paling umum digunakan dalam pengeringan alami ini yaitu lantai semen, jalan beraspal, atau sebuah tikar seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.7 dibawah.



**Gambar 2.7** Pengeringan Alami

(Sumber: [www.diadona.id](http://www.diadona.id))

Sampai saat ini pengeringan jenis ini masih banyak ditemukan di wilayah Indonesia karena beberapa keuntungan yang dimilikinya yaitu biaya yang dikeluarkan jauh lebih murah karena mengandalkan energi alam dan tidak membutuhkan bahan bakar, serta mudah dilakukan oleh orang yang baru pertama kali melakukan proses pengeringan. Namun, ada keuntungan pasti ada kerugian yang dimiliki oleh jenis pengeringan alami ini yaitu suhu pengeringan yang dikeluarkan oleh matahari tidak dapat dikontrol dan sangat bergantung pada cuaca sehingga proses pengeringan dapat berlangsung lebih lama, dan juga memerlukan lahan yang luas untuk dapat melakukan penjemuran. (Hartuti & Sinaga, 1997)

## 2. Pengeringan buatan

Pengeringan dengan menggunakan pemanasan dari hasil pembakaran adalah definisi dari pengeringan buatan. Dimana pengeringan buatan ini adalah lawan dari pengeringan alami, dimana pengeringan alami tidak menggunakan bahan bakar namun pada pengeringan buatan ini menggunakan bahan bakar contoh dari pengering buatan dapat dilihat pada gambar 2.8 dibawah

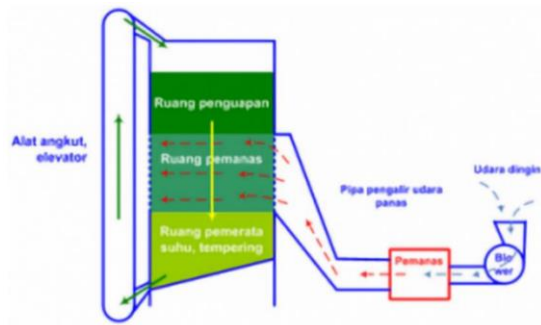


**Gambar 2.8** Pengeringan Buatan  
(Sumber: [www.metromesin.id](http://www.metromesin.id))

Tentu saja pengering buatan memiliki kelebihan serta kekurangannya. Kelebihannya yaitu panas yang dihasilkan merata dan jauh lebih stabil jika dibandingkan dengan panas matahari yang tidak bisa diatur suhunya sehingga proses pengeringan dapat dilakukan dengan waktu lebih singkat, lalu yang kedua tidak bergantung dengan cuaca maupun siang-malam sehingga dapat dilakukan setiap saat. Namun kekurangan yang dimiliki dari pengering buatan ini adalah biaya yang dikeluarkannya tentu jauh lebih mahal baik dari segi pembuatan media pengeringnya sama dengan biaya operasionalnya. (Hartuti & Sinaga, 1997)

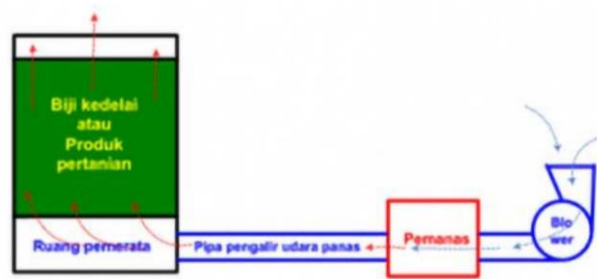
Menurut (Rimadhani, 2022) pengeringan buatan dibagi menjadi dua jenis yaitu pengering sistem kontinyu dan pengering sistem *batch*. Pada pengeringan sistem kontinyu, kontak bahan dengan udara pengering hanya terjadi satu kali saat bahan berada pada zona

pengeringan dan juga bahan mengalir secara kontinyu (gambar 2.9). Lalu untuk pengering sistem *batch* bahan akan dikeringkan dalam suatu wadah dengan udara pengering dan dilakukan secara berulang kali (gambar 2.10)



**Gambar 2.9** Pengering Sistem Kontinyu

(Sumber: Rimadhani, 2022)



**Gambar 2.10** Pengering Sistem *Batch*

(Sumber: Rimadhani, 2022)

## 2.7 Faktor-faktor yang Mempengaruhi Pengeringan

terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengeringan yang dilakukan pada sebuah alat pengering. Faktor-faktor tersebut adalah sebagai berikut ini:

### 1. Luas Penampang Alat

Jika sebuah alat pengeringan memiliki luas penampang yang lebih besar maka pengeringan akan semakin lebih cepat. Hal tersebut dapat terjadi karena semakin besarnya kontak antara bahan pangan dengan udara panas begitupun sebaliknya.

### 2. Tekanan Udara Pada Alat

Semakin kecil tekanan udara yang dimiliki pada alat maka uap air dapat lebih banyak tertampung dan disingkirkan dari bahan karena udara yang terdapat pada tekanan rendah memiliki kerapatan yang kurang. Begitupun sebaliknya, jika tekanan udara lebih besar maka proses pengeringan akan lebih lambat karena lembab.

### 3. Perbedaan suhu

Prinsip dari pengeringan itu sendiri adalah saat suhu pada medium pemanas dan bahan pangan memiliki beda suhu yang besar maka kandungan air akan keluar lebih cepat sehingga proses pengeringanpun menjadi lebih cepat juga. Namun, jika tidak sesuai dengan bahan yang akan dikeringkan maka akan terjadi *case hardening* atau bagian luar sudah kering sedangkan bagian dalam belum. Oleh karena hal itu perbedaan suhu menjadi faktor penting dalam proses pengeringan bahan.

## 2.8 Flat Bed Dryer (FBD) dan Prinsip Kerjanya

*flat bed dryer* adalah sebuah alat pengering yang biasa digunakan untuk mengeringkan gilingan beras dan merupakan pengering bak statis yang paling sederhana. Keuntungan yang didapatkan dari penggunaan alat pengering ini adalah memiliki waktu pengeringan yang singkat karena FBD merupakan pengering buatan, memiliki kapasitas yang besar, dan mudah di kontrol (SHIDIQ, 2022).

Menurut (Suhelmi et al., 2022) prinsip kerja dari alat pengering FBD ini yaitu udara panas yang dihasilkan oleh pemanas akan didorong oleh blower secara paksa sehingga aliran udara tersebut akan menuju ke bahan pangan yang akan dilakukan proses pengeringan, sistem kerja ini biasa disebut dengan *forced convection*

*Flat bed dryer* ini memiliki lima buah komponen penting di dalamnya yaitu bak pengering (*box dryer*) yang biasanya berbentuk persegi panjang dan terdapat alas berlubang dibawahnya yang berfungsi sebagai jalur udara panas masuk. Yang kedua ada ruang *plenum* untuk menampung dan juga meneruskan udara panas yang didorong blower menuju bak pengeringan.

Blower berfungsi untuk mendorong atau meneruskan udara panas menuju bak pengeringan. Selanjutnya ada sumber pemanas yang biasanya menggunakan kompor gas. Dan yang terakhir ada motor penggerak. Pada gambar 2.11 dibawah dapat dilihat contoh dari *flat bed dryer* (SHIDIQ, 2022).



**Gambar 2.11** *Flat Bed Dryer*

(Sumber: [www.agriculture.com.ph](http://www.agriculture.com.ph))

## 2.9 Permodelan CFD-DEM pada *Flat Bed Dryer*

Pada permodelan CFD-DEM yang diterapkan pada *flat bed dryer* ini, fase padat diperlakukan sebagai fase diskrit sedangkan untuk perilaku alirannya dapat dijelaskan dengan metode elemen diskrit. Lalu untuk gerakan translasi dan rotasi pada partikel dapat dijelaskan dengan hukum gerak newton dalam persamaan berikut:

$$m_i \frac{dv_i}{dt} = \mathbf{f}_{p-f,i} + \sum_{j=1}^{k_i} (\mathbf{f}_{c,ij} + \mathbf{f}_{d,ij}) + m_i \mathbf{g} - \dot{m}_{v,i} (\mathbf{u} - \mathbf{v}_i) \quad \dots\dots\dots(2.1)$$

$$I_i \frac{d\omega_i}{dt} = \sum_{j=1}^{k_i} (\mathbf{T}_{ij} + \mathbf{M}_{ij} + \mathbf{T}_{n,ij}) \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

Dimana  $m_i$  adalah massa,  $I_i$  yaitu momen inersia,  $\mathbf{v}_i$  kecepatan translasi, dan  $\omega_i$  adalah rotasi partikel  $i$  lalu selanjutnya kecepatan gas disimbolkan dengan  $\mathbf{u}$ . terdapat beberapa gaya yang bekerja pada padatan dengan simbolnya masing masing yaitu gaya interaksi gas padat ( $\mathbf{f}_{p-f,i}$ ), gaya antar partikel pada partikel  $i$  dan  $j$ , yang terdiri dari gaya kontak ( $\mathbf{f}_{c,ij}$ ), dan gaya rendaman viskositas ( $\mathbf{f}_{d,ij}$ ), gaya gravitasi ( $m_i \mathbf{g}$ ), torsi  $\mathbf{T}_{ij}$  dihasilkan oleh gaya tangensial, Torsi gesekan *rolling* ( $\mathbf{M}_{ij}$ ) dan torsi normal ( $\mathbf{T}_{n,ij}$ ). Pada persamaan 2.1 menyatakan tentang partikel yang kehilangan momentum

akibat penguapan uap air. Lalu untuk konservasi massa dan momentum untuk fase fluida dinyatakan dengan: (Wahyudi et al., 2022)

$$\frac{\partial(\rho_f \varepsilon_f)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_f \varepsilon_f \mathbf{u}) = \sum_{i=1}^k \dot{m}_{v,i} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\frac{\partial(\rho_f \varepsilon_f \mathbf{u})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_f \varepsilon_f \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla P - \mathbf{F}_{p-f} + \nabla \cdot (\varepsilon_f \boldsymbol{\tau}) + \rho_f \varepsilon_f \mathbf{g} + \sum_{i=1}^k \dot{m}_{v,i} (\mathbf{u} - \mathbf{v}_i) \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

Porositas dilambangkan dengan ( $\varepsilon$ ), tensor tegangan kental fluida ( $\boldsymbol{\tau}$ ), densitas fluida ( $\rho_f$ ), tekanan (P), laju penguapan uap air partikel  $i$  ( $\dot{m}_{v,i}$ ), dan gaya interaksi partikel-fluida volumentrik ( $\mathbf{F}_{p-f}$ ). gaya interaksi partikel-fluida itu sendiri didapatkan dari persamaan berikut

$$\mathbf{F}_{p-f} = \frac{1}{V_{cell}} \sum_{i=1}^k \mathbf{f}_{p-f,i} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana ( $\mathbf{F}_{p-f}$ ) adalah gaya fluida pada partikel  $i$  sedangkan  $k$  yaitu jumlah partikel dalam sel komputasi.

Terdapat dua mekanisme pertukaran panas yang terjadi pada partikel  $i$  dan sekelilingnya. Pertama adalah partikel kehilangan panas akibat penguapan uap air, dan yang kedua konveksi partikel-fluida. Oleh karena itu, berikut persamaan keseimbangan fasa padat pada skala partikel:

$$m_i c_{p,i} \frac{dT_i}{dt} = \dot{Q}_{f,i} - \dot{m}_{v,i} h_{fg}^* \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Temperature partikel  $i$  pada waktu  $t$  ( $T_i$ ), panas spesifik ( $c_{p,i}$ ), dan laju pertukaran panas konvektif antara fluida dengan partikel  $i$  ( $\dot{Q}_{f,i}$ ). pada model *bladed mixer*, fenomena perpindahan panas antara partikel dengan dinding partikel diabaikan karena dalam fluidized bed. Lalu, durasi kontak dan juga area kontak untuk permukaan kurva sangatlah kecil. (Wahyudi et al., 2022)

Pada model *flat bed dryer* untuk suhu rendah perpindahan panas jenis radiasi dapat diabaikan sehingga tidak dipertimbangkan dalam model. Suku terakhir pada persamaan 2.6 menjelaskan tentang kehilangan panas dari sebuah partikel atau entalpi akibat penguapan air. Panas laten penguapan air dari partikel ( $h_{fg}^*$ ) merupakan fungsi dari kadar air dalam partikel dan suhu partikel. Lalu persamaan panas laten dinyatakan sebagai berikut: (Wahyudi et al., 2022)

$$h_{fg}^* = h_{fg}(T_i)(1 + p \exp(qM)) \quad \dots\dots\dots (2.7)$$



Pada persamaan 2.7 diatas,  $M$  adalah kadar air di dalam basis kering lalu konstanta  $p$  dan  $q$  bergantung kepada jenis partikel yang akan digunakan. Sebagai contoh, jika untuk partikel beras  $p = 3,2$  dan  $q = -21,7$  panas laten penguapan air dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$h_{fg} = 1918,46 \left( \frac{T_p}{(T_p - 33,91)} \right)^2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Lalu untuk persamaan energi fase fluida dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial(\rho_f \varepsilon_f c_{p,f} T_f)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_f \varepsilon_f \mathbf{u} c_{p,f} T_f) = \nabla \cdot \{ \varepsilon_f (k_{f,eff}) \nabla T_f \} - \frac{1}{V_{cell}} \sum_{i=1}^k \dot{Q}_{f,i} + \frac{1}{V_{cell}} \sum_{i=1}^k \dot{m}_{v,i} h_{fg}^* \dots\dots\dots (2.9)$$

Pada persamaan 2.9 diatas,  $c_{p,f}$  adalah panas spesifik, lalu untuk  $T_f$  yaitu temperature fluida pada waktu  $t$ , sedangkan  $k_{f,eff}$  adalah konduktivitas termal efektif pada fluida di dalam sel komputasi. Setelah itu, untuk persamaan perpindahan massa uap air dalam fase fluida dinyatakan sebagai berikut:

$$\frac{\partial(\rho_f \varepsilon_f Y_{H2O})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_f \varepsilon_f \mathbf{u} Y_{H2O}) = \nabla \cdot \{ \varepsilon_f (D_{av}) \nabla Y_{H2O} \} + \frac{1}{V_{cell}} \sum_{i=1}^k \dot{m}_{v,i} \dots\dots\dots (2.10)$$

$Y_{H2O}$  adalah massa uap air dalam campuran gas sedangkan  $D_{av}$  adalah suhu yang berasal dari difusivitas termal uap air yang terdapat di udara yang dapat dinyatakan dengan:

$$D_{av} = 2.16 \times 10^{-5} \left( \frac{T}{273.15} \right)^{1.8} \dots\dots\dots (2.11)$$

## 2.10 Interaksi Partikel Fluida Pada *Flat Bed Dryer*

Menurut (Hilton et al., 2010) terdapat tiga buah gaya yang dominan pada partikel fluida yaitu gaya drag, gaya tekanan gradient, dan gaya kekentalan pada sistem terfluidasi. Pada sebuah bilangan Reynold yang kecil, gaya dari viskositas dapat diabaikan. Untuk partikel berbentuk ellipsoid jika orientasi dari partikel tidak berjalan searah dengan aliran, dan distribusi tekanan asimetris pada permukaan partikel maka akan menginduksi gaya angkat dan torsi pitching. Namun, gaya angkat serta torsi pitching tidak memiliki pengaruh yang besar terhadap koefisien perpindahan panas dan massa. Sehingga hanya gaya Tarik dan tekanan gradient yang diperhitungkan. (Zhou et al., 2011)

Sebuah fluida akan berinteraksi dengan partikel yang terdapat disekitarnya. Karena terjadinya tegangan geser fluida pada permukaan partikel tersebut maka akan menghasilkan beberapa gaya interaksi fluida-

partikel. Pengertian dari gaya interaksi fluida-partikel adalah sebuah gaya dorong untuk menggerakkan sebuah partikel sehingga gaya dorong ini harus diperhatikan dengan baik (TRI HARTANTI, 2022).

Menurut penelitian (Zhou et al., 2011) setelah dianalisis reliabilitas beberapa korelasi gaya drag yang telah dikemukakan oleh beberapa peneliti didapatkan kesimpulan bahwasannya korelasi gaya hambat milik seorang peneliti bernama (Hölzer & Sommerfeld, 2008) memiliki lebih banyak peminat dan disukai sehingga koefisien drag  $C_D$  yang digunakan yaitu sebagai berikut:

$$C_D = \frac{8}{Re_{p,i}} \frac{1}{\sqrt{\varphi_{||}}} + \frac{16}{Re_{p,i}} \frac{1}{\sqrt{\varphi}} + \frac{3}{\sqrt{Re_{p,i}}} \frac{1}{\varphi^{3/4}} + 0.4210^{0.4(-\log \varphi)^{0.2}} \frac{1}{\varphi_{\perp}} \dots (2.12)$$

Rasio antara luas penampang *sphere* ekuivalen volume dengan selisih antara setengah luas permukaan dan rata-rata luas penampang memanjang yang diproyeksikan dengan partikel ellipsoidal disimbolkan dengan  $\varphi_{||}$ . Sedangkan symbol  $\varphi_{\perp}$  adalah rasio antara luas penampang *sphere* ekuivalen volume dengan proyeksi luas penampang yang tegak lurus. Pertimbangan persamaan elips relative terhadap koordinat lokal dapat dinyatakan sebagai berikut: (Wahyudi et al., 2022)

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1 \dots (2.13)$$

Luas proyeksi partikel berbentuk ellipsoidal ( $A_p$ ) tegak lurus dengan aliran fluida dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A_p = \pi a_1 b_1 e_{\nu} \cdot e_{\tau} \dots (2.14)$$

Dimana  $a_1$  dan  $b_1$  adalah sumbu mayor dan juga minor dari sebuah proyeksi elips dan dinyatakan sebagai berikut:

$$a_1 = (d \cos^2 \psi + e \sin^2 \psi + g \sin 2\psi)^{-0.5} \dots (2.15)$$

$$b_1 = (d \sin^2 \psi + e \cos^2 \psi - g \sin 2\psi)^{-0.5} \dots (2.16)$$

Lalu dengan persamaan berikut:

$$d = \frac{1}{a^2} \cos^2 \varphi \cos^2 \theta + \frac{1}{b^2} \sin^2 \varphi \cos^2 \theta - \frac{1}{c^2} \sin^2 \theta$$

$$e = \frac{1}{a^2} \sin^2 \varphi + \frac{1}{b^2} \cos^2 \varphi$$

$$g = 0.5 \left( -\frac{1}{a^2} + \frac{1}{b^2} \right) \sin 2\varphi \cos \theta$$

$$\begin{aligned}\tan 2\varphi &= \frac{-2g}{e-d} \\ \cos\theta &= \frac{\cos\gamma_v}{K_\tau C^2} \\ \cos\varphi &= \frac{\frac{\cos\alpha_v}{a^2}}{\left(\frac{\cos^2\alpha_v}{a^4} + \frac{\cos^2\beta_v}{b^4}\right)^{0.5}} \\ K_\tau &= \left(\frac{\cos^2\alpha_v}{a^4} + \frac{\cos^2\beta_v}{b^4} + \frac{\cos^2\gamma_v}{c^4}\right)^{0.5} \dots\dots\dots(2.17)\end{aligned}$$

Sudut antara sumbu utama yang bersesuaian (yaitu a, b, dan c) adalah pengertian dari symbol  $\alpha_v$ ,  $\beta_v$  dan  $\gamma_v$ . Lalu untuk  $e_v$  adalah sebuah vector satuan kecepatan fluida pada pusat partikel berbentuk ellipsoidal, dan  $e_\tau$  adalah sebuah vector satuan yang penjabarannya yaitu sebagai berikut:

$$e_\tau = \frac{1}{K_\tau} \left(\frac{\cos\alpha_v}{a^2}, \frac{\cos\beta_v}{b^2}, \frac{\cos\gamma_v}{c^2}\right) \dots\dots\dots(2.18)$$

Dari asumsi sistem lumped pada persamaan 2.6, persamaan matematis untuk pertukaran panas fluida-partikel ( $\dot{Q}_{f,i}$ ) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\dot{Q}_{f,i} = Nu \frac{k_f}{D_e} A_e [T_f - T_i] \dots\dots\dots(2.19)$$

Pada persamaan 2.19 diatas,  $A_e$  adalah luas permukaan bola yang setara dengan volume sementara  $k_f$  adalah temperature dari konduktivitas termal fluida yang sudah dievaluasi dengan temperature rata rata partikel fluida.

$$Nu = 1.76 + 0.55\varphi Re_{p,i}^{0.5} Pr^{0.333} \varphi^{0.075} + 0.014 Re^{0.67} Pr^{0.333} \left(\frac{\varphi}{\varphi_\perp}\right)^{7.2} \dots\dots\dots(2.20)$$

Untuk menyelesaikan persamaan 2.20 diatas adalah dengan mengembangkan korelasi bilangan nusselt untuk partikel berbentuk ellipsoidal. Karena, hal ini sangat bergantung pada perilaku aliran, orientasi partikel terhadap vector aliran fluida, dan sifat dari partikel itu sendiri. Hingga sekarang, sangat sedikit literatur yang membahas tentang korelasi bilangan nusselt tersebut.

Sama seperti korelasi nusselt untuk perpindahan panas antara fluida dan partikel ellipsoidal, literature yang membahas secara lengkap mengenai bilangan Sherwood juga belum ada hingga saat ini. Sehingga untuk mempermudah bentuk serta orientasi partikel diasumsikan tidak mempengaruhi dari laju penguapan air dari partikel. Sehingga, persamaan perpindahan massa konvektif secara umum yaitu sebagai berikut:

$$\dot{m}_{v,i} = \frac{sh^{D_{av}}}{D_e^{A_e}} [\rho_{v,s} - \rho_{v,f}] \dots\dots\dots (2.21)$$

$$sh = (1.2 + 0.6Re_{p,i}^{0.5} Sc^{0.333}) \dots\dots\dots (2.22)$$

Dapat dilihat pada persamaan 2.21 diatas,  $\rho_{v,s}$  adalah densitas uap air yang terdapat pada permukaan partikel, lalu  $\rho_{v,f}$  yaitu densitas uap air pada sel komputasi. Lalu untuk  $D_{av}$  dapat dicari dengan persamaan 2.11 sebelumnya. Untuk persamaan 2.22 diatas, sesungguhnya dikembangkan unruk partikel dengan bentuk bola. Oleh karena itu untuk partikel ellipsoidal, laju perpindahan massanya mungkin akan berbeda dengan yang dihitung dari persamaan 2.22. namun, terdapat kesamaan antara proses perpindahan panas dan massa dalam proses pengeringannya. (Razin, 2001)

Terdapat korelasi antara koefisien perpindahan panas dengan koefisien perpindahan massa, semakin tinggi koefisien perpindahan panas maka semakin tinggi pula koefisien perpindahan massa. Sehingga untuk perkiraan dengan model *flat bed dryer* silinder persamaan 2.23 dibawah dapat digunakan:

$$\rho_{v,s} = Exp \left( \frac{-\Delta E_v}{RT_i} \right) \rho_{v,sat}(T_i) \dots\dots\dots (2.23)$$

Pada persamaan 2.23,  $E_v$  adalah energy aktivasi semu yang menjelaskan tingkat kesulitan untuk menghilangkan air dari sebuah bahan yang sudah dikeringkan pada tingkat kadar air yang rendah. Contoh, energi aktivasi untuk partikel padi dapat diturunkan dengan persamaan berikut:

$$\frac{\Delta E_v}{\Delta E_{v,e}} = f (M - M_e) = -125.37(M - M_e)^3 + 28.378(M - M_e)^2 - 4.486(M - M_e) + 1.008 \dots\dots\dots (2.24)$$

Dari persamaan 2.24 diatas,  $\Delta E_{v,e} = -RT_f \ln(RH)$ . RH itu sendiri adalah singkatan dari *relative humidity* (persamaan 2.25), lalu  $M_e$  adalah kadar air kesetimbangan yang ditentukan korelasi empiris tergantung dengan bahan yang akan dikeringkan. Contoh untuk partikel es  $M_e$  pada persamaan 2.26 berikut:

$$RH = \frac{P_v}{P_{v,sat}} \Big|_{T_f,p} = \frac{\rho_{v,f}}{\rho_{v,sat}} \Big|_{T_f,p} \dots\dots\dots (2.25)$$

$$M_e = \left( \frac{\ln(1-RH)}{-8.5014 \times 10^{-6} T_f} \right)^{\frac{1}{2.386}} \dots\dots\dots (2.26)$$

Kepadatan uap air jenuh ( $\rho_{v,sat}$ ) sangat bergantung pada suhu campuran gas dan nilainya ditentukan dengan persamaan berikut:

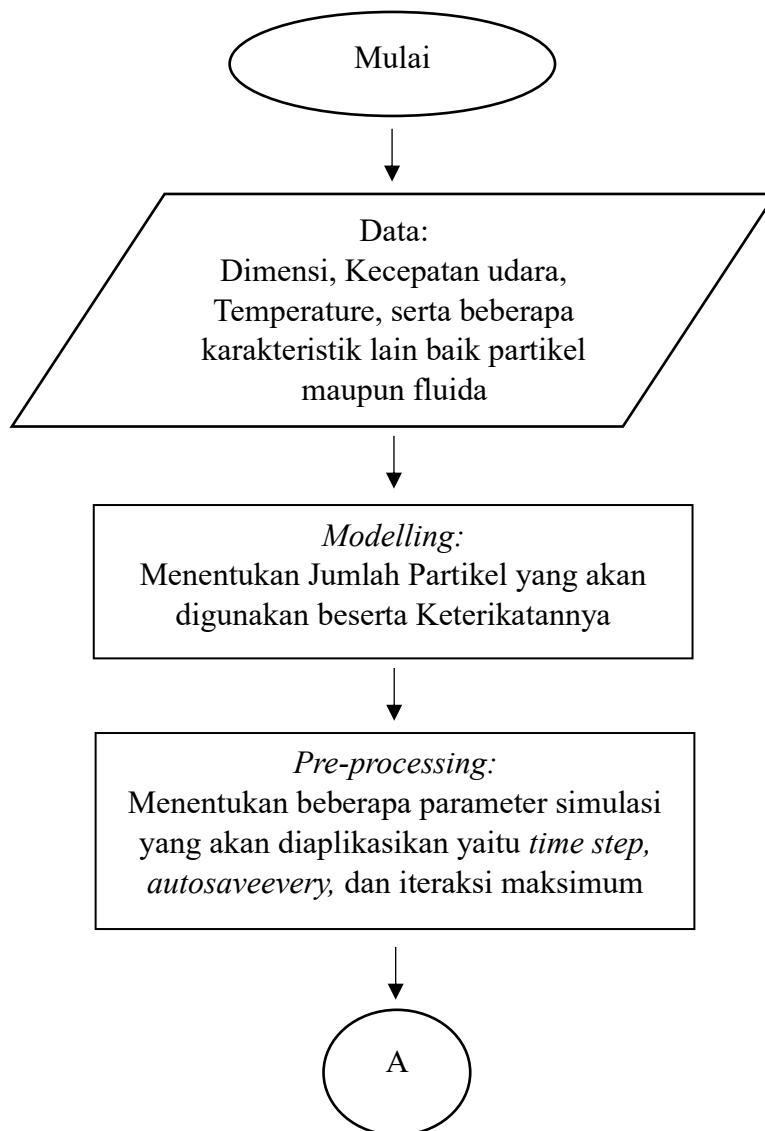
$$\begin{aligned} \rho_{v,sat}(T_f) = & 4.884 \times 10^{-9} (T_f - 273)^4 - 1.4807 \times 10^{-7} (T_f - 273)^3 \\ & + 2.6572 \times 10^{-5} (T_f - 273)^2 - 4.8613 \times 10^{-5} (T_f - 273) + 0.008342 \dots \dots \dots (2.27) \end{aligned}$$

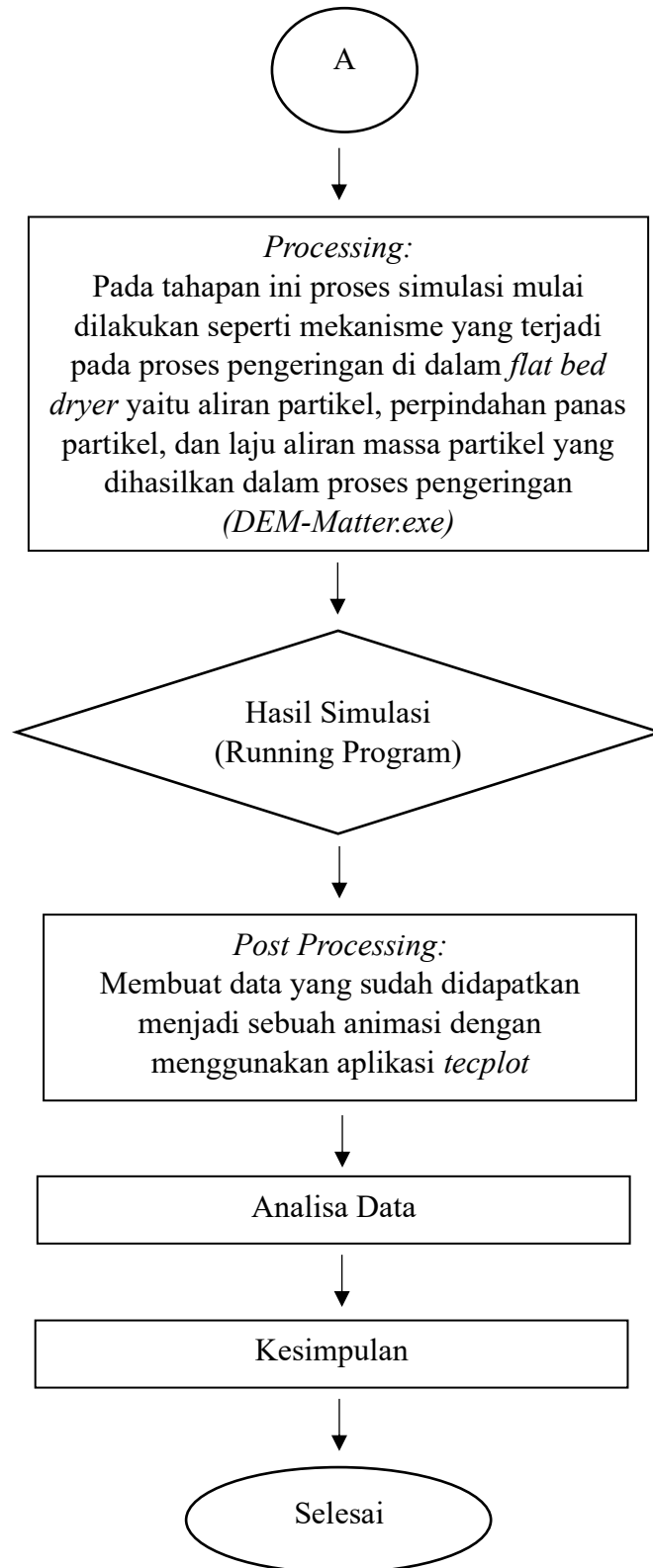
# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian kali ini terdapat sebuah diagram alir yang bertujuan untuk menjelaskan mengenai tahapan-tahapan pada penulisan laporan tugas akhir kali ini. Diagram alir tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini:





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian  
(Dokumen Pribadi)

Lalu berikut ini adalah penjelasan dari diagram alir diatas, dimana diagram alir tersebut akan dilakukan pada proses penelitian kali ini supaya penelitian berjalan dengan terencana dan terarah. Berikut adalah penjelasannya:

1. Mulai

Pada tahap pertama ini, penulis melakukan studi literatur melalui jurnal, buku, dan berita. Referensi yang digunakan tentu saja berkaitan dengan proses simulasi CFD-DEM (*Computational Fluid Dynamics-Discrete Element Methode*) dari sumber-sumber yang kredibel. Tujuan dilakukannya studi literature ini adalah untuk mendukung topik penelitian yang akan penulis lakukan.

2. Data

Lalu pada tahap ini penulis mengumpulkan data-data yang akan digunakan dalam proses simulasi seperti dimensi *reactor* dan bilah dari *flat bed dryer*, kecepatan udara (*inlet*), dan temperature udara. Data-data tersebut didapatkan dari banyak sumber seperti jurnal, buku, bahkan hasil dari *trial and error* sehingga cukup kredibel. Contoh data tersebut kemudian akan digunakan sebagai *input* pada proses selanjutnya yaitu proses *modelling*

3. *Modelling*

Dari data-data yang sudah dikumpulkan sebelumnya dilanjutkan dengan proses *modelling*. Tahapan ini bertujuan untuk mendefinisikan model dari geometri, domain, serta data yang akan disimulasikan. Langkah pertama membuat model 3D dari *flat bed dryer* menggunakan aplikasi *spaceclaim* sesuai dengan data yang sudah dikumpulkan sebelumnya. Selanjutnya model 3D tersebut dibuat menjadi *grid/mesh* supaya bisa dilakukan perhitungan secara komputasi. Setelah *grid/mesh* jadi, dilakukan pengaturan domain.

4. *Pre-processing*

Tahapan ini bertujuan untuk menentukan beberapa parameter yang akan digunakan dalam simulasi CFD-DEM ini. Beberapa parameter



tersebut seperti *timestep*, *autosaveevery*, dan juga iterasi maksimum. Parameter tersebut sangat penting dalam simulasi CFD-DEM ini

5. *Processing (DEM-Matter.exe)*

Pada tahap *processing* ini menggunakan *software* yang sudah dikembangkan secara pribadi oleh bapak Hadi Wahyudi, S.T., M.T., Ph.D selaku dosen pembimbing. program ini adalah program yang mensimulasikan keseluruhan dari proses pengeringan pada partikel padi di dalam pengaduk bilah *flat bed dryer*. Pada proses simulasi pengeringan padi kali ini akan menghasilkan beberapa data seperti aliran partikel, perpindahan panas partikel, laju perpindahan massa partikel, dan *moisture content* partikel

6. Hasil program

Setelah program *DEM-Matter.exe* selesai, akan dihasilkan data-data yang diperlukan sesuai dengan tujuan penelitian kali ini seperti fenomena gerakan partikel padi dalam *reactor flat bed dryer*, proses perpindahan panas, dan proses perpindahan massa di dalam *reactor*.

7. *Post Processing*

Langkah selanjutnya masuk ke dalam tahap *post processing*. Dimana pada tahap ini bertujuan untuk memvisualisasikan hasil dari tahapan *processing* yang sudah dilakukan, dengan tujuan untuk mempermudah dalam menganalisa data. Proses visualisasinya menggunakan aplikasi *tecplot* sehingga dapat dengan mudah untuk melanjutkan ke tahapan selanjutnya yaitu analisa data

8. Analisa data

Pada tahapan kali ini hasil yang sudah divisualisasikan akan dibahas sesuai dengan tujuan dari penelitian kali ini. Data yang dihasilkan yaitu berupa gerakan padi di dalam *flat bed dryer*, proses perpindahan panas, dan proses perpindahan massa yang terjadi di dalam *flat bed dryer*.

9. Kesimpulan

Tahapan terakhir yaitu kesimpulan, pada tahapan ini dibuatlah kesimpulan berdasarkan data-data yang sudah didapatkan serta menjawab tujuan dari penelitian ini.

### 3.2 CFD-DEM

Aliran dari partikel-fluida yang disimulasikan dengan menggunakan penggabungan CFD-DEM itu sendiri sebenarnya terdiri dari fase serta karakteristik yang berbeda. Selain itu CFD-DEM juga saling berinteraksi dengan menggunakan cara yang *kompleks* serta berbeda pula. Oleh karena itu, perlu dilakukan pendekatan multi-skala untuk memahami fenomena pada kondisi operasi yang berbeda-beda. Dalam simulasi menggunakan gabungan CFD-DEM itu sendiri hasil pergerakan dari masing-masing partikel didapatkan dengan persamaan newton tentang gerakan. Namun, untuk hasil dari aliran fluida didapatkan dengan menggunakan komputasi dinamika fluida (CFD).

Sebuah aliran benda solid yang dilakukan permodelan oleh DEM berada pada level individual partikel, sedangkan untuk aliran fluida permodelan dilakukan oleh CFD dan berada pada level sel komputasi. Saat digabungkan setiap *time step* yang berasal dari DEM akan memberikan sebuah informasi yang berisikan kecepatan serta posisi dari partikel tersebut lalu mengevaluasi porositas dan gaya drag dari fluida di dalam sel komputasi. Lalu data yang sudah dievaluasi tersebut akan digunakan CFD untuk menentukan dan menghitung medan aliran gas yang kemudian menghasilkan gaya drag fluida yang terdapat pada partikel. Hasil yang didapatkan dari simulasi menggunakan gabungan CFD-DEM adalah informasi tentang gerakan dari partikel dan fluida yang disimulasikan.

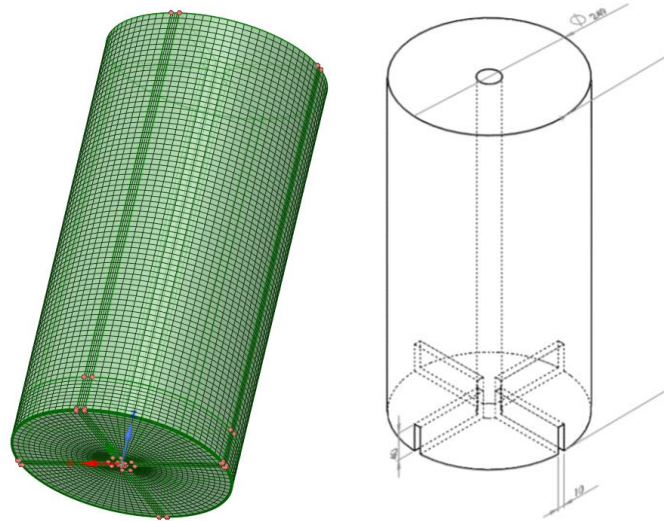
### 3.3 Pengaplikasian DEM Dalam *Flat Bed Dryer*

Terdapat beberapa tahapan yang harus dilakukan untuk dapat mengaplikasikan DEM (*Discrete element method*) pada *flat bed dryer*. Dan berikut ini adalah tahapan-tahapannya:

#### 1. *Modelling*

Pada tahapan ini dilakukan permodelan susunan dari partikel yang akan di masukan ke dalam *flat bed dryer* beserta model dari pengeringnya. Model dan ukuran dari *flat bed dryer* pada simulasi kali ini terinspirasi

dari penelitian yang dilakukan oleh (Herman et al., 2022) dengan beberapa perubahan pada ukurannya. Pada langkah ini juga memodelkan bentuk dari partikel yang akan digunakan, dimana pada penelitian kali ini objek partikel yang digunakannya adalah padi. dapat dilihat pada gambar 3.2 dibawah



**Gambar 3.2** Susunan Partikel Pada *Flat Bed Dryer*  
(Dokumen Pribadi)

2. Penginputan Data

Pada tahap ini, data yang sudah dikumpulkan kemudian di *input* pada program sesuai dengan keadaan partikel dan *flat bed dryer*.

3. *Boundary Condition*

Dimana pada tahap ini model yang sudah dibuat sebelumnya akan dijadikan dalam bentuk *mesh*. Model yang sudah dibuat dibagi dengan jumlah grid tertentu yang menghasilkan batasan domain. Sehingga, pada setiap titik kontrol perhitungan akan dilakukan perhitungan secara komputer dengan batasan domain dan *boundary condition* yang telah ditentukan.

4. Proses *Running*

Tentunya dalam penggunaan *flat bed dryer* ini memiliki kelebihan dan juga kekurangannya. Sehingga hal tersebut yang menjadi pertimbangan dalam menggunakan *flat bed dryer*.

Kelebihan:

1. Distribusi aliran udara panas akan lebih merata dikarenakan bahan yang dikeringkan akan diaduk selama proses pengeringan.
2. Dapat digunakan pada lahan yang terbatas dan tidak bergantung kepada cuaca
3. Mutu padi yang dihasilkan oleh alat pengering ini jauh lebih baik dan dapat dikontrol suhu pengeringannya (Yuliyantika & Sudarti, 2022)

Kekurangan:

1. Ketebalan padi yang akan dikeringkan di dalam ruang pengering perlu diatur karna semakin tebal maka proses pengeringan akan semakin lama
2. Menggunakan energi pemanas yang cukup besar sehingga mempengaruhi harga jual padi
3. Memiliki biaya operasional dan *maintenance* yang cukup tinggi (Catrawedarma, 2019; Rahmawan, 2019)

### 3.4 Sifat Partikel dan Parameter DEM Yang Digunakan

Tentunya dalam simulasi CFD-DEM yang akan dilakukan terdapat parameter dan juga sifat-sifat pada simulasinya. Hal-hal tersebut merupakan suatu hal penting yang harus diatur supaya simulasi yang akan dilakukan sesuai dengan kebutuhan. Berikut adalah sifat serta parameter yang digunakan dalam penelitian kali ini:

**Tabel 3.1** Sifat Partikel dan Parameter DEM

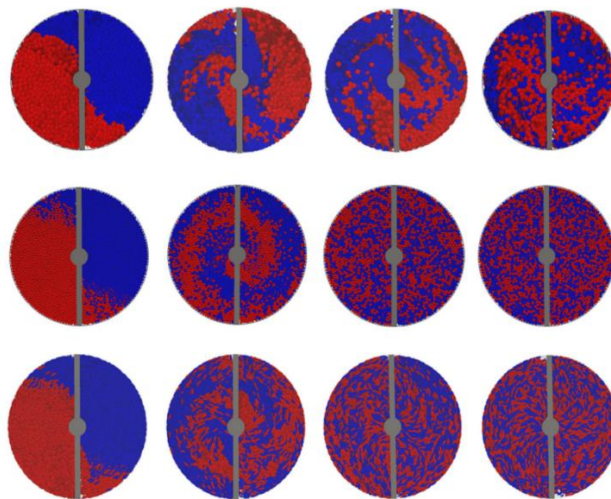
No	Parameter	Nilai
1	Diameter Partikel A, B, C	0,011234 & 0.0065 & 0.0065 (mm)
2	Densitas Partikel ( $\rho_p$ ),	1500 kg/m <sup>3</sup>
3	Bentuk Partikel	Prolate
4	Jumlah Partikel	6.500
5	Kecepatan Udara	1,5 m/s
6	Kadar Air Awal Padi	20% - 26%
7	<i>Time Step</i>	3,384 x 10 <sup>-5</sup>

8	<i>Inlet Temperature</i>	333,16 °K / 60 °C
9	<i>Humidity Ratio</i>	0,002
10	Variasi Kecepatan Putar	0,1 rad/s 0,3 rad/s 0,5 rad/s

kadar air mula-mula dari partikel padi yang digunakan dalam simulasi kali sesuai dengan kadar air setelah petani memanen padinya yaitu berkisar di angka 20%-26%. Dan berdasarkan standar nasional (SNI) kadar air yang dianjurkan supaya padi dalam kualitas baik adalah sebesar 14% supaya padi dapat disimpan hingga 6 bulan lamanya. (Mustofa, 2021)

pada sebuah proses pengeringan padi menggunakan sebuah alat pengering, disarankan agar suhu mesin berada di antara 50 °C sampai 60 °C. hal tersebut dimaksudkan agar padi yang dihasilkan memiliki kualitas yang bagus dan juga dapat disimpan dengan waktu yang cukup lama. (Awangga, Yoga and Alfi, 2019)

Menurut (Nusyirwan, 2015) hasil pengeringan padi menggunakan sebuah dryer dengan sebuah *blade* atau pengaduk di dalamnya menghasilkan presentasi keseragaman pengeringan yang cukup baik. Melalui penelitian yang sudah dia lakukan menghasilkan nilai persentase keseragaman pengeringan sebesar 86,6%. Dan juga untuk kadar air dan laju pengeringan juga dipengaruhi oleh putaran dari pengaduknya, semakin tinggi putaran pengaduk maka semakin cepat juga penurunan kadar air dan massanya.



**Gambar 3.3** Hasil Efektivitas Pencampuran Partikel Prolate

(Herman et al., 2022)

Sebuah penelitian yang dilakukan oleh (Herman et al., 2022) juga menyatakan bahwasannya efek pencampuran yang didapatkan oleh partikel berbentuk *prolate* sangatlah baik dan seragam jika dibandingkan dengan efek pencampuran partikel dengan bentuk yang lain. Hasil dari penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 3.3 diatas

### 3.5 ANSYS Fluent

Salah satu aplikasi yang digunakan pada penelitian kali ini adalah ANSYS Fluent 2022 R2 license. ANSYS Fluent itu sendiri adalah salah satu jenis program *computational fluid dynamic* (CFD) yang menggunakan sebuah metode volume terbatas. Penggunaan fluent itu sendiri memungkinkan untuk menyelesaikan persoalan-persoalan tentang fluida menggunakan mesh yang tidak terstruktur karena fluent menawarkan fleksibilitas mesh penuh. (Fachry, 2022)

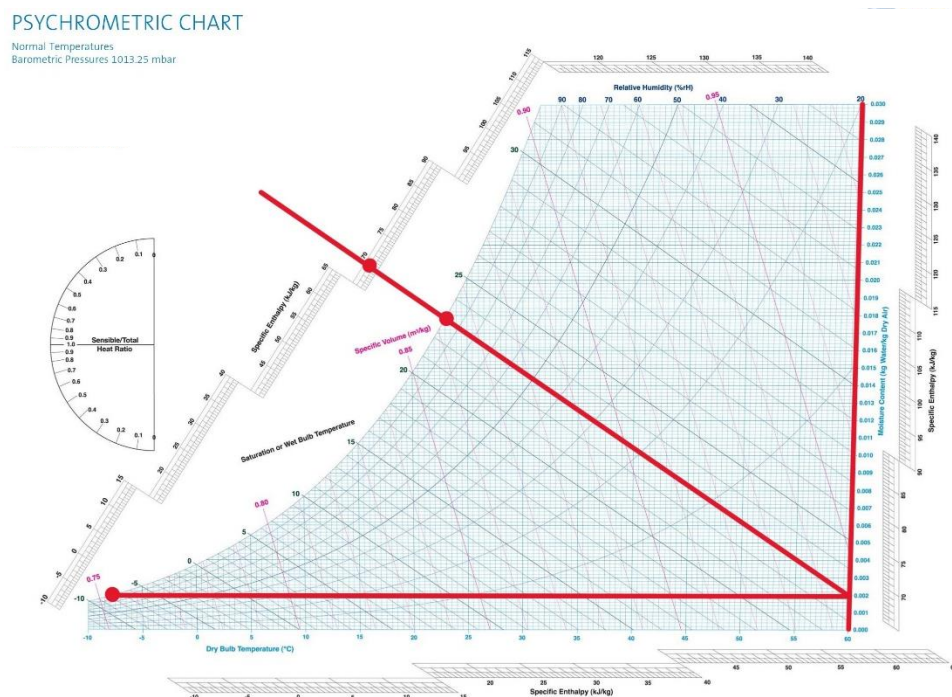
ANSYS itu sendiri adalah sebuah aplikasi/*software* berbasis *finite element analysis* (FEA). Banyak cakupan simulasi yang bisa dijalankan menggunakan ANSYS contohnya perpindahan panas, dinamika fluida, dan simulasi struktur. ANSYS itu sendiri bekerja dengan cara metode elemen hingga, yaitu sistem penyelesaiannya dilakukan dengan cara membagi objek analitis satu rangkaian kesatuan dalam jumlah terbatas elemen (Fadila & Bustami, 2013). Penggunaan dari *software* ANSYS ini juga mudah karena ANSYS berintegrasi dengan perangkat lunak CAD, sehingga pengguna lebih leluasa untuk membuat model geometri dengan menggunakan aplikasi CAD yang telah lebih dulu di kuasai tidak perlu menggunakan aplikasi CAD dari ansys itu sendiri (Spaceclaim). Hasil yang di dapatkan dari penggunaan ansys fluent ini berupa pendekatan dengan menggunakan analisa numerik, dan ketelitiannya bergantung pada kualitas mesh yang telah dibuat sebelumnya. (Harahap, 2020)

### 3.6 Diagram Psikometrik

Psikometrik itu sendiri adalah sebuah ilmu yang mempelajari tentang sifat antara udara dengan uap air, karena udara atmosfer tidak 100% kering

melainkan terdapat campuran antara uap air dan udara. Terdapat beberapa istilah yang digunakan pada ilmu psikometrik ini seperti Temperature bola kering (*dry bulb*), temperature bola basah (*wet bulb*), *absolute humidity*, *relative humidity*, *specific enthalpy*, dan *dew point*. (Ridhuan & Rifai, 2017)

Sedangkan diagram psikometrik adalah sebuah diagram yang berfungsi untuk menunjukkan suatu hubungan yang dimiliki antara beberapa komponen seperti kelembaban, enthalpy, temperature, dan kandungan uap air pada udara. Diagram psikometrik digunakan untuk menentukan sistem pengkondisian udara pada suatu sistem. (Sasongko et al., 2020)



**Gambar 3.4** Diagram Psikometrik Simulasi  
(Dokumen Pribadi)

Penelitian kali ini melakukan simulasi pada sebuah alat pengering padi yang tentu saja pada alat tersebut terdapat udara dan juga uap air yang terkandung di dalamnya. Pada simulasi ini temperature udara basah yang dimiliki sebesar 333,16 °K atau 60 °C, lalu *humidity ratio* sebesar 0,002 kg H<sub>2</sub>O/kg. dari data yang sudah dimiliki tersebut kita dapat mengetahui nilai *dew point*, *wet bulb*, dan *specific enthalpy* yang dimiliki pada alat pengeringan tersebut dan dapat dilihat pada gambar 3.3 diatas.

1. *Dew Point*

*Dew point* adalah sebuah kondisi saat sebuah campuran udara dan uap air pertama kali mengembun atau menjadi sebuah butiran cairan. Pada simulasi kali ini didapatkan nilai dew point antara -10 °C hingga -5 °C. dengan jarak perhitungan manual (menggunakan penggaris) dari -10 °C hingga -5 °C adalah sebesar 1,5 cm dan dari -10 hingga titik *dew point* yaitu sebesar 0,7 cm. dengan menggunakan rumus interpolasi didapatkan hasil berikut:

$$y_3 = \frac{(1,5-0,7).-10+(0,7-0).-5}{1,5-0} = -7,6 \text{ °C}.....(4.1)$$

2. *Wet Bulb*

*Wet bulb* adalah temperature pada suatu alat atau sistem yang diukur menggunakan sebuah termometer dengan sensor yang dibalut dengan sebuah kain basah dengan tujuan supaya radiasi panas pada alat dapat menghilang. Pada simulasi kali ini didapatkan nilai *wet bulb* antara 20 °C hingga 25 °C. dengan jarak perhitungan manual (menggunakan penggaris) dari 20 °C hingga 25 °C adalah sebesar 3,1 cm dan dari 20 hingga titik *wet bulb* yaitu sebesar 1,8 cm. dengan menggunakan rumus interpolasi didapatkan hasil berikut:

$$y_3 = \frac{(3,1-1,8).20+(1,8-0).25}{3,1-0} = 22,9 \text{ °C}.....(4.2)$$

3. *Specific Enthalpy*

*Specific Enthalpy* adalah jumlah kandungan energi kalor yang berada pada udara. Pada simulasi kali ini didapatkan nilai *Specific Enthalpy* antara 65 kJ/kg hingga 70 kJ/kg. dengan jarak perhitungan manual (menggunakan penggaris) dari 65 kJ/kg hingga 70 kJ/kg adalah sebesar 0,8 cm dan dari 65 kJ/kg hingga titik *Specific Enthalpy* yaitu sebesar 0,6 cm. dengan menggunakan rumus interpolasi didapatkan hasil berikut:



$$y_3 = \frac{(0,8-0,6).65+(0,6-0).70}{0,8-0} = 68,75 \text{ kJ/kg} \dots\dots\dots (4.3)$$

### **3.7 Waktu dan Tempat Pelaksanaan**

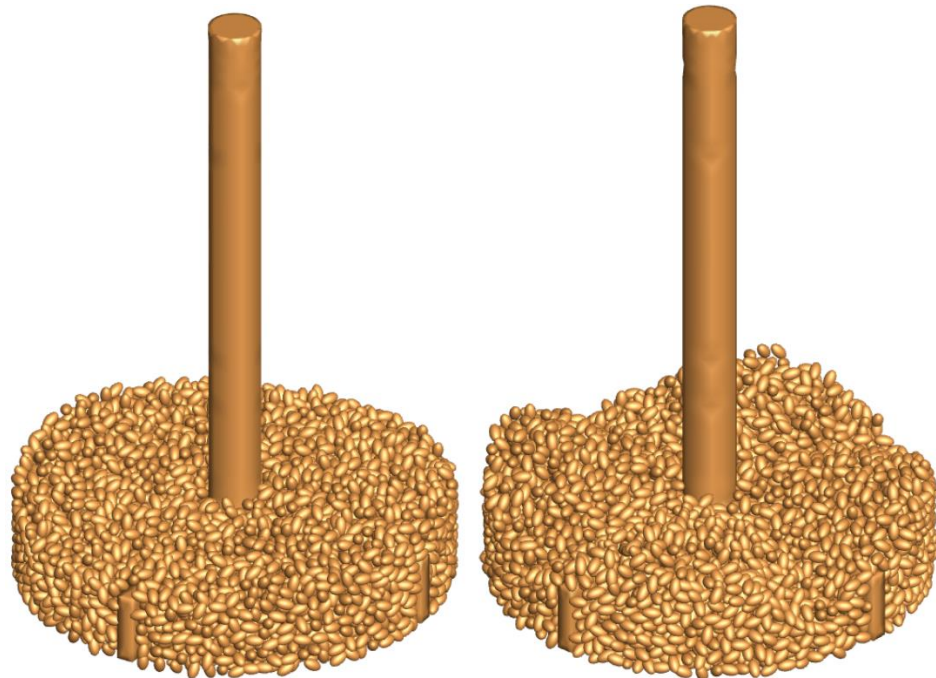
Penelitian ini akan dilaksanakan di laboratorium desain mesin, fakultas teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dari tanggal 2 Agustus 2023 hingga 16 Agustus 2023.

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisa Karakteristik Aliran

Pada bagian ini akan disajikan hasil simulasi karakteristik aliran di dalam alat pengering beserta analisisnya. Analisa kali ini meliputi karakteristik aliran pada gas di dalam *flat bed dryer* serta karakteristik aliran yang terjadi pada partikel (padi). Dimana dalam satu variasi kecepatan putar *blade* dibagi menjadi lima waktu. Dan untuk gambar asli dari alat pengering dan bentuk partikel padi dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



**Gambar 4.1** Bentuk Asli Partikel Padi Pada Alat Pengering

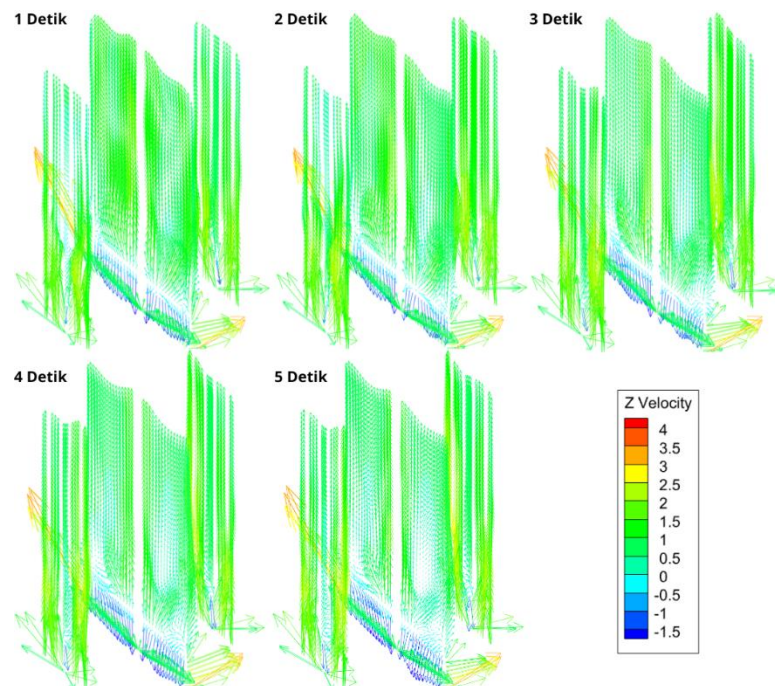
(Sumber: Dokumen Pribadi)

##### 4.1.1 Gas

Pada bagian ini akan dibahas hasil simulasi dari aliran gas yang terdapat pada alat pengering. Dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah hasil simulasi aliran gas pada kecepatan putar *blade* 0,1 rad/s. dapat dilihat bahwa pada kecepatan putar ini aliran gas yang dihasilkan belum ada perbedaan yang

cukup signifikan, dapat dilihat pada detik pertama hingga detik ketiga aliran gas yang di distribusikan oleh *blade* dengan kecepatan ini tidak terlalu menyebar atau efektif hanya bergerak lurus keatas dan mulai stabil pada detik 4 hingga seterusnya.

Lalu efek yang akan ditimbulkan dari penyebaran aliran gas yang tidak merata ini cukup beragam dan akan berpengaruh ke pembahasan selanjutnya yaitu efek perpindahan panas yang dihasilkan oleh putaran *blade* pada alat pengering jadi kurang maksimal. Selanjutnya karena aliran gas yang tidak merata (bagian dasar terlebih dahulu yang terkena) maka proses perpindahan massa atau penurunan kadar air di dalam partikel juga akan terpengaruh dan proses pengeringan berlangsung lebih lama.

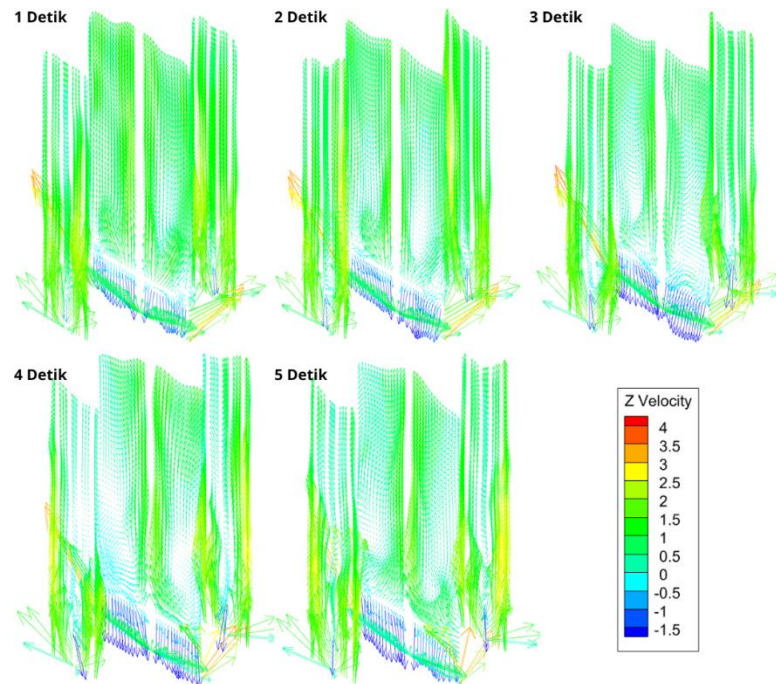


**Gambar 4.2** Karakteristik Aliran Gas Variasi 0,1 rad/s

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Aliran gas yang terdapat pada variasi kecepatan putar *blade* 0,3 rad/s dapat dilihat melalui gambar 4.3 dibawah ini. Pada hasil simulasi kali ini dapat dilihat perbedaan yang cukup terlihat jika dibandingkan dengan variasi sebelumnya, yaitu terjadi penyebaran atau aliran gas yang cukup merata. Hal ini dapat dilihat pada detik kedua hingga detik kesepuluh

pengerinan, terlihat udara paling banyak menyebar di area atas *blade* yang berputar sehingga hal ini dapat mempengaruhi hasil dari proses pengerinan yang dilakukan.

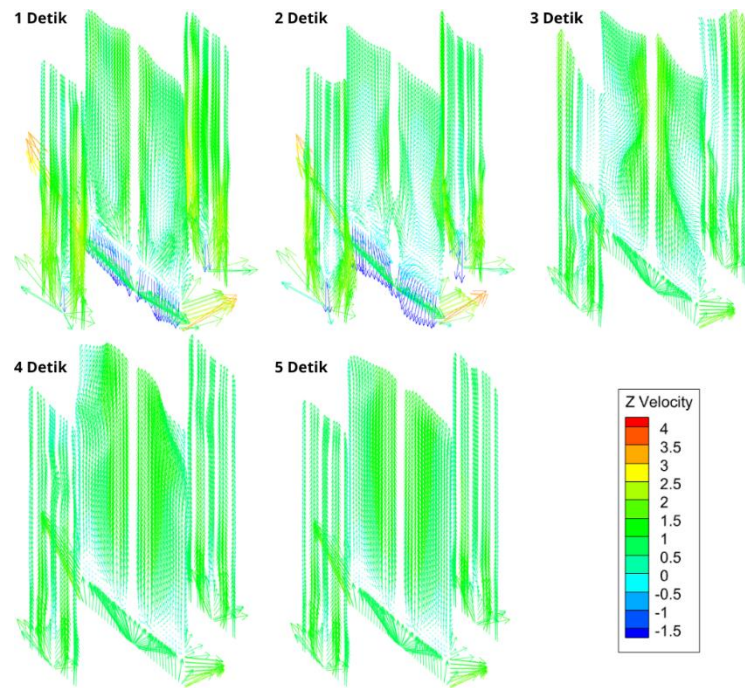


**Gambar 4.3** Karakteristik Aliran Gas Variasi 0,3 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Selanjutnya, pada gambar 4.4 dibawah dilampirkan hasil simulasi aliran gas pada variasi 0,5 rad/s. jika dibandingkan dengan dua variasi kecepatan putar sebelumnya, pada kecepatan 0,5 rad/s ini memiliki penyebaran aliran gas yang lebih efektif. Hal tersebut dapat dilihat Bersama pada gambar 4.4 detik pertama hingga detik keempat, aliran gas terlihat lebih tersebar dan tidak hanya bergerak lurus ke permukaan sehingga proses pengerinan partikel menjadi lebih merata

Sehinga dari hasil simulasi aliran gas yang sudah dijelaskan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar *blade* pada alat pengerin memiliki efek yang cukup signifikan pada penyebaran aliran gas. Semakin cepat *blade* berputar maka penyebaran aliran gas akan semakin merata yang membuat proses pengerinan akan menjadi lebih cepat. Namun

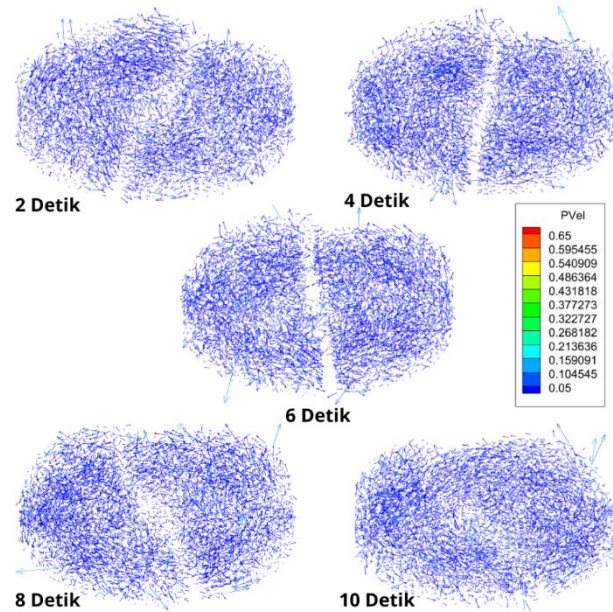
jika *blade* berputar dengan cukup lambat maka proses pengeringan pun akan semakin lama



**Gambar 4.4** Karakteristik Aliran Gas Variasi 0,5 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

#### 4.1.2 Partikel

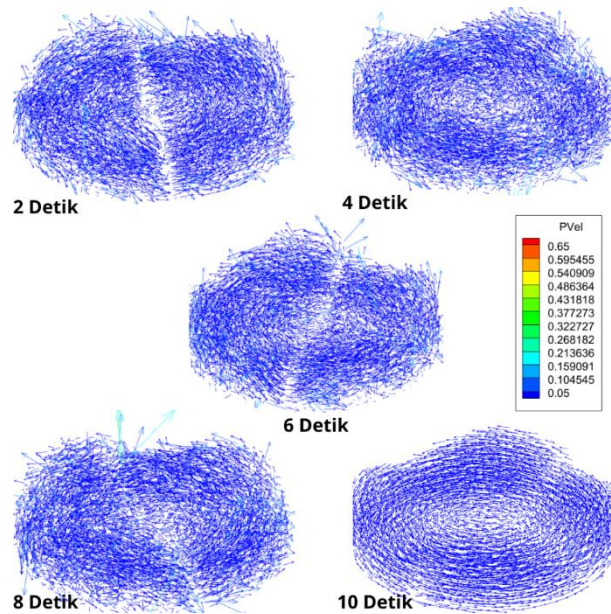
Selanjutnya akan pembahasan akan merujuk pada hasil simulasi karakteristik putaran yang terjadi pada partikel (padi) di dalam alat pengering. Pada gambar 4.5 dibawah dapat dilihat hasil simulasi dari aliran partikel pada variasi kecepatan putar 0,1 rad/s. dapat dilihat bahwa karakteristik aliran partikel yang dihasilkan dari variasi putaran ini belum stabil, dapat dilihat pada gambar bahwa partikel masih bergerak secara acak-acakan. Bahkan sampai detik kesepuluh pun partikel masih belum bergerak secara stabil



**Gambar 4.5** Karakteristik Aliran Partikel Variasi 0,1 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

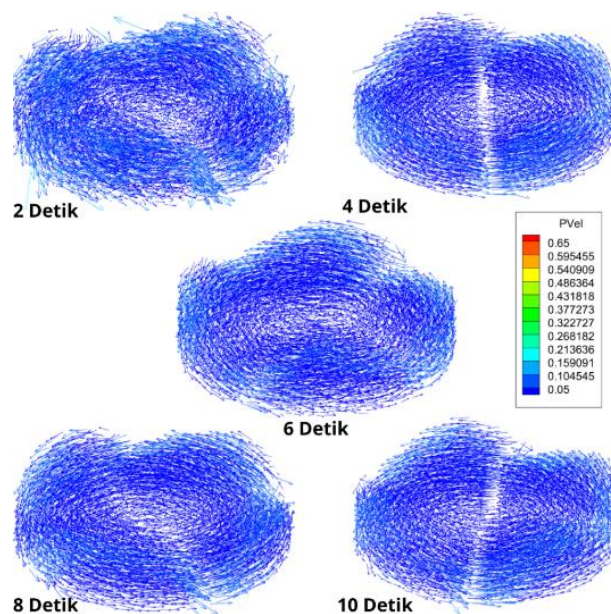
Selanjutnya dapat dilihat pada gambar 4.6 dibawah hasil dari aliran partikel pada kecepatan putar blade 0,3 rad/s. hasil aliran partikel pada variasi ini memiliki perbedaan yang cukup terlihat. Pada detik kedua hingga detik kedelapan aliran partikel yang dihasilkan memang belum maksimal, namun jika dibandingkan dengan variasi sebelumnya sudah banyak perubahan yang terjadi.

Selanjutnya pada detik ke 10 dapat dilihat bahwa aliran partikel dalam alat pengering sudah dikatakan stabil. Hal tersebut menandakan bahwa kecepatan putar *blade* menentukan lama waktu aliran partikel untuk stabil, karena jika aliran partikel sudah stabil akan berdampak pada distribusi udara panas yang dihasilkan dan juga berpengaruh pada proses perpindahan massa air ke udara ruang.



**Gambar 4.6** Karakteristik Aliran Partikel Variasi 0,3 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Lalu yang terakhir yaitu hasil simulasi aliran partikel pada variasi kecepatan putar 0,5 rad/s dapat dilihat pada gambar 4.7 dibawah. Jika dibandingkan dengan dua variasi kecepatan putar sebelumnya, pada kecepatan putar 0,5 rad/s ini memiliki perbedaan yang sangat jauh sekali. Dapat dilihat pada detik ke 2 partikel sudah memiliki aliran yang cukup baik setara dengan delapan detik aliran partikel pada variasi 0,3 rad/s, lalu pada detik ke 4 aliran partikel sudah dalam keadaan stabil hingga seterusnya.



**Gambar 4.7** Karakteristik Aliran Partikel Variasi 0,5 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Jika ketiga variasi kecepatan putar tersebut dibandingkan, pada variasi 0,1 rad/s hingga detik ke 10 pun belum mencapai keadaan aliran partikel yang stabil sehingga hal ini akan berpengaruh kepada lama partikel untuk menurunkan kadar airnya yang menyebabkan pengeringan akan menjadi lebih lama dan membutuhkan lebih banyak energi. Hal tersebut terjadi karena udara panas yang dikeluarkan tidak bisa dialirkan dengan efektif menuju partikel bagian atas.

Lalu pada variasi 0,3 rad/s sudah didapatkan aliran partikel yang stabil yaitu pada detik ke 10 dan untuk variasi 0,5 rad/s pada detik ke 4. Sehingga dari hasil simulasi aliran partikel yang sudah dijelaskan sebelumnya dapat dikatakan bahwa kecepatan putaran dari *blade* akan sangat berpengaruh sekali, semakin cepat putaran dari *blade* yang digunakan maka hasil aliran baik gas maupun partikel yang akan dihasilkan menjadi lebih stabil dan lebih baik.

## 4.2 Analisa Karakteristik Perpindahan Panas

Pada subbab kali ini akan disajikan pembahasan mengenai karakteristik perpindahan panas pada *bladed mixer* yang sudah dilakukan Analisa. Analisa ini meliputi perpindahan panas yang terjadi pada gas dan juga perpindahan panas yang terjadi pada partikel (padi) di dalam *bladed mixer*. Dimana kecepatan putar yang digunakan yaitu sebesar 0,1 rad/s, 0,3 rad/s dan 0,5 rad/s dengan temperature udara masuk yang digunakan sebesar 333,16 °K.

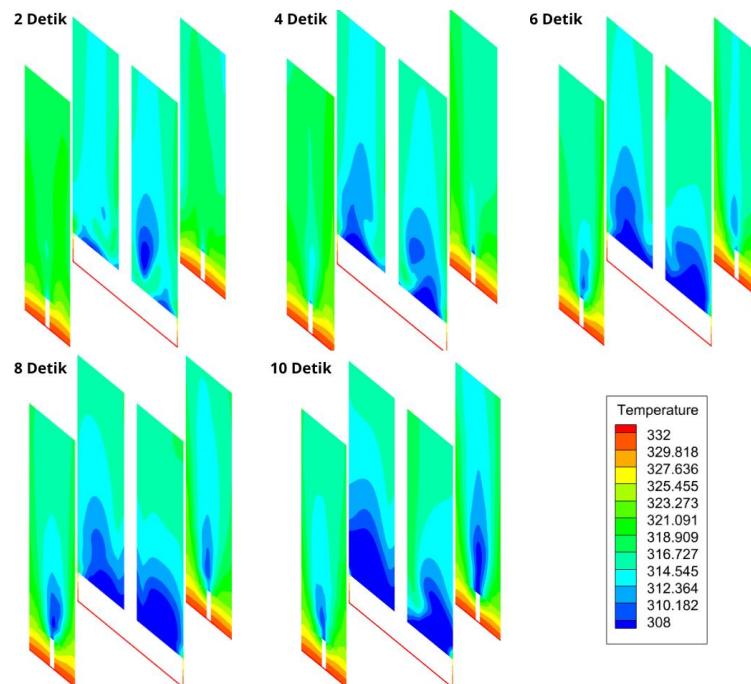
### 4.2.1 Gas

Analisa karakteristik perpindahan panas yang pertama adalah perpindahan panas yang terjadi pada gas di dalam alat pengering dengan kecepatan putar *blade* 0,1 rad/s. hasil simulasi variasi ini dapat dilihat pada gambar 4.8 dibawah, terlihat bahwa pada awal pengeringan yaitu detik kedua suhu ruang bagian atas *blade* berada pada suhu 314,545 °K dan ada sedikit yang bersuhu 308 °K, suhu tersebut adalah suhu dari partikel padi



yang menguap menuju suhu ruang yang artinya proses pengeringan sudah berjalan pada detik tersebut walaupun belum terlalu signifikan.

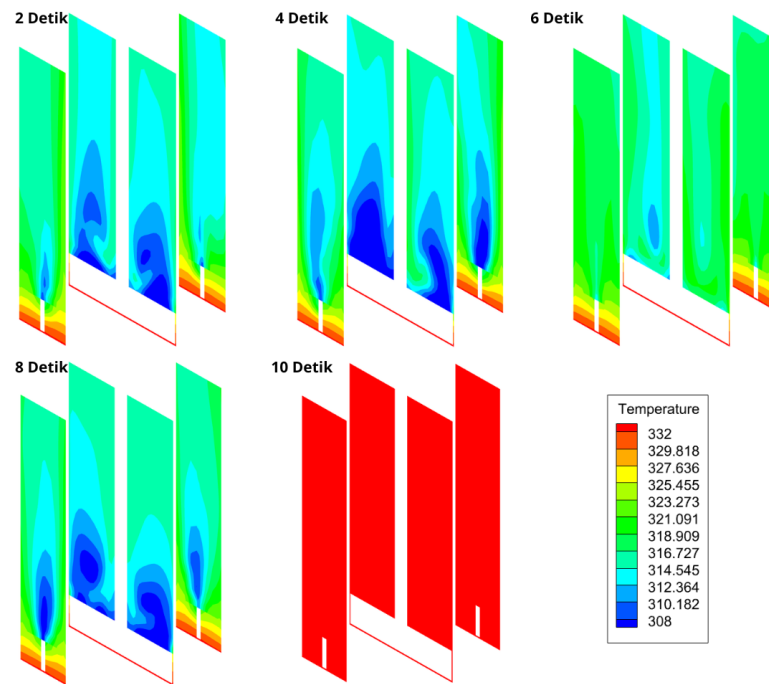
Lalu pada detik keempat hingga detik kesepuluh suhu gas sebesar 308 °K mulai naik ke permukaan untuk menyatu dengan suhu ruang baik dari bagian depan, bagian belakang, dan bagian atas *blade* alat pengering. Namun, menyambung penjelasan pada subbab 4.1.1 bahwa putaran *blade* berpengaruh pada penyebaran aliran gas dan dari hasil simulasi temperature ini dapat dibuktikan hal tersebut. Karna putaran 0,1 rad/s tidak terlalu kencang maka aliran gas panas yang terdapat pada alat pengering mengalami penyebaran yang cukup lama. Bisa kita lihat pada detik 10 saja gas dengan suhu 308 °K belum menyatu sepenuhnya dengan gas ruang itu berarti proses pengeringan bisa berlanjut lebih lama lagi.



**Gambar 4.8** Karakteristik Perpindahan Panas gas Variasi 0,1 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

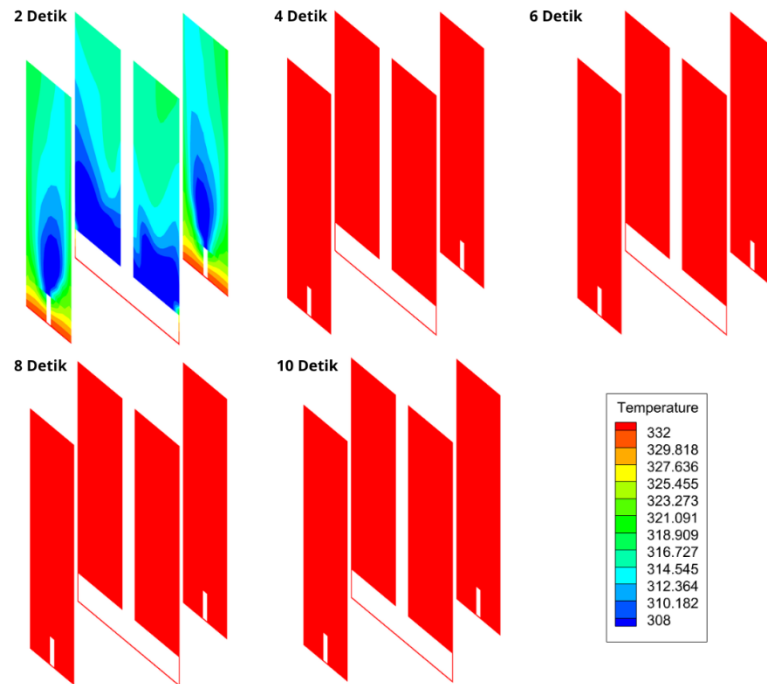
Selanjutnya hasil simulasi dari variasi kecepatan putar *blade* 0,3 rad/s dapat dilihat pada gambar 4.9 dibawah ini. Pada detik kedua hingga detik kedelapan pengeringan masih sama seperti variasi sebelumnya, namun lebih banyak gas dengan temperature 308 °K yang mengalami penguapan. Perbedaan yang paling signifikan terjadi pada detik ke sepuluh pengeringan

yaitu gas pada seluruh bagian alat pengering sudah mencapai titik maksimal yaitu 332 °K.



**Gambar 4.9** Karakteristik Perpindahan Panas gas Variasi 0,3 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Hasil simulasi variasi terakhir yaitu 0,5 rad/s dapat dilihat pada gambar 4.10 dibawah ini. Pada hasil simulasi putaran kali ini sangat terlihat jelas efek yang ditimbulkan dari putaran *blade* pada sebuah alat pengering. Pada detik kedua saja gas dengan suhu 308 °K sudah menguap sangat tinggi jika dibandingkan dengan variasi 0,1 rad/s yang membutuhkan waktu 6 hingga 10 detik untuk mencapai posisi yang sama. Selanjutnya pada detik keempat hingga seterusnya seperti yang dilihat seluruh suhu pada alat pengering sudah mencapai 332 °K. jika dibandingkan dengan variasi 0,3 rad/s yang membutuhkan waktu 10 detik untuk membuat alat pengering bertemperatur 332 °K, variasi 0,5 ini hanya membutuhkan waktu 4 detik saja. Sehingga hal ini akan berpengaruh pada lamanya proses pengeringan padi yang akan dilakukan.



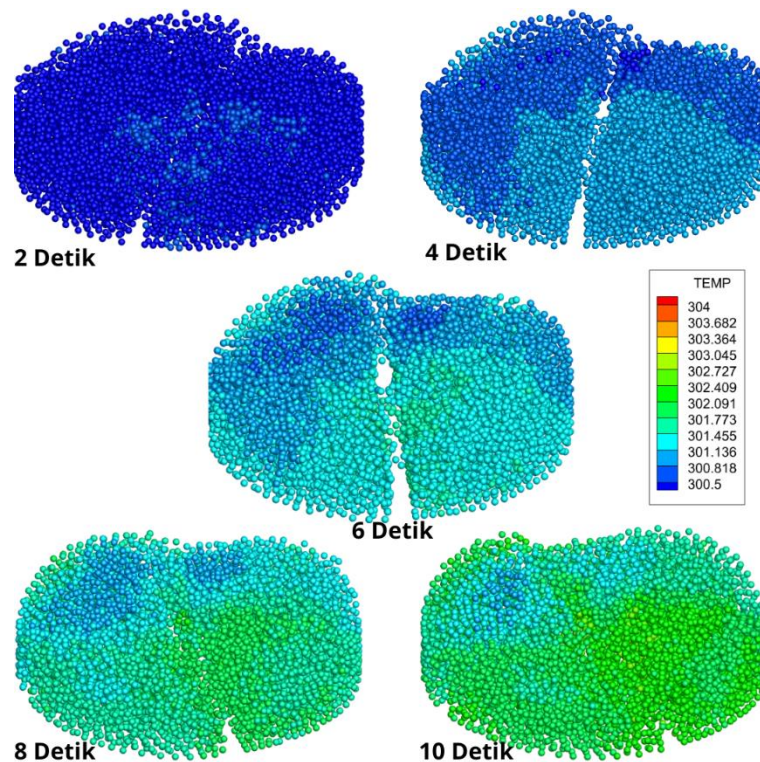
**Gambar 4.10** Karakteristik Perpindahan Panas gas Variasi 0,5 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Dari hasil simulasi perpindahan panas gas pada seluruh variasi putaran yang sudah dijelaskan sebelumnya didapatkan kesimpulan bahwa kecepatan putar *blade* berpengaruh pada proses perpindahan panas gas yang terjadi pada alat pengering. Semakin cepat *blade* berputar maka aliran gas akan semakin menyebar pada tiap partikel baik bagian dasar maupun bagian permukaan, sehingga proses perpindahan panas pun bisa dilakukan dengan cepat karna suhu panas mengalir dengan lebih merata. Namun sebaliknya, semakin lama *blade* berputar maka aliran gas tidak tersebar secara merata dan mengakibatkan proses perpindahan panas menjadi lebih lama lagi. Hal ini dibuktikan dengan waktu 4 detik saja putaran 0,5 rad/s dapat membuat suhu alat pengering menjadi 332°K. namun, untuk variasi 0,1 dan 0,3 rad pada detik keempat gas bersuhu 308 °K saja belum menguap sempurna.

#### 4.2.2 Partikel

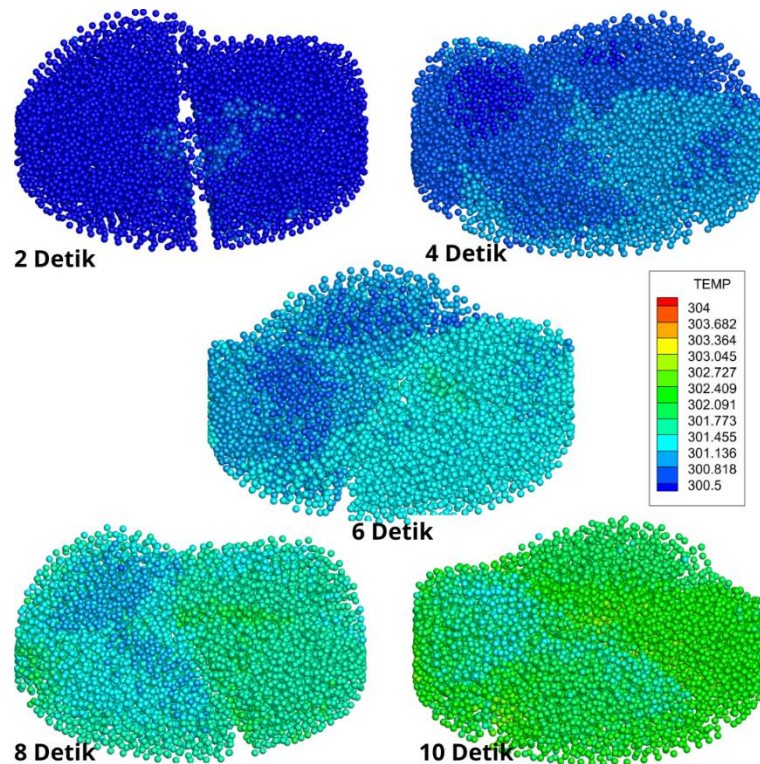
Pada bagian ini akan membahas mengenai karakteristik perpindahan panas yang terjadi pada partikel (padi) di dalam *bladed mixer* dengan lama

pengeringan 2, 4, 6, 8, dan 10 detik. Dengan rentang temperature 300,5 °K hingga 304 °K.



**Gambar 4.11** Karakteristik Perpindahan Panas Partikel 0,1 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

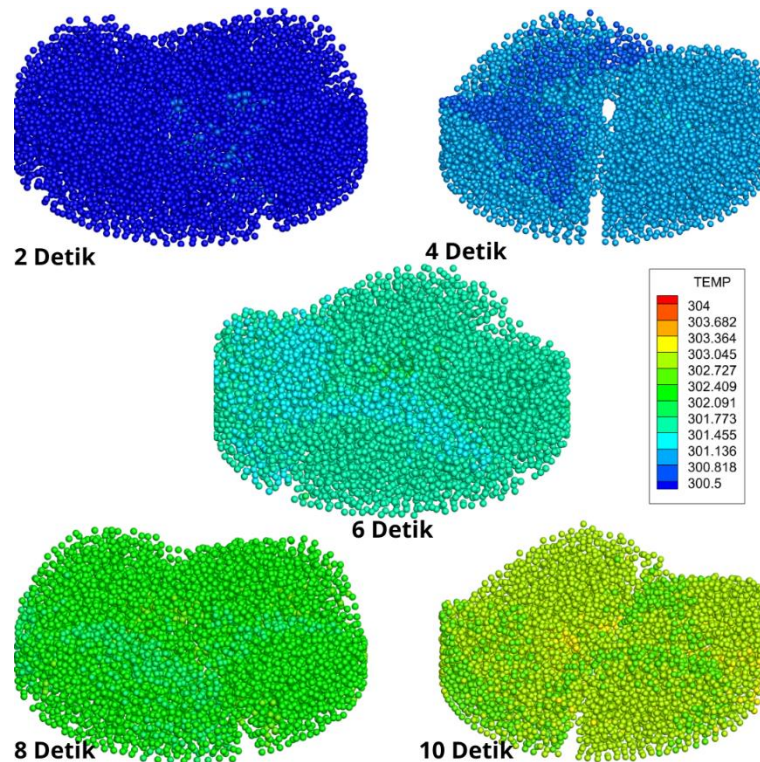
Pada gambar 4.11 diatas telah disajikan hasil simulasi perpindahan panas yang terjadi pada partikel (padi) dengan kecepatan putar *blade* sebesar 0,1 rad/s dengan 5 rentang waktu lama pengeringan yaitu 2 detik hingga 10 detik. Pada gambar diatas dapat dilihat perubahan temperature pada partikel seiring dengan bertambahnya durasi pengeringan. Pada waktu pengeringan 2 detik perpindahan panas yang terjadi masih belum merata dengan mayoritas temperatur partikel masih di angka 300,5 °K dan sedikit partikel sudah mencapai temperature 300,818 °K. lalu pada detik ke 6 pengeringan, temperatur partikelpun naik dari 300,5 °K sampai 301,773 °K namun hanya tersisa sedikit saja partikel yang memiliki temperature 300,5 °K. lalu pada waktu maksimal pengeringan yaitu 10 detik. Temperatur partikel sudah mencapai rentang 301,136 °K sampai 302,727 °K.



**Gambar 4.12** Karakteristik Perpindahan Panas Partikel 0,3 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Pada gambar 4.12 diatas dapat dilihat hasil simulasi perpindahan panas yang terjadi pada kecepatan putar *blade* sebesar 0,3 rad/s. pada detik 2 hingga detik 8 pengeringan, rentang temperature yang dimiliki oleh partikel dapat dikatakan masih sama dengan temperature partikel pada variasi putaran 0,1 rad/s hanya berbeda pada pendistribusian panas yang terjadi di partikelnya saja.

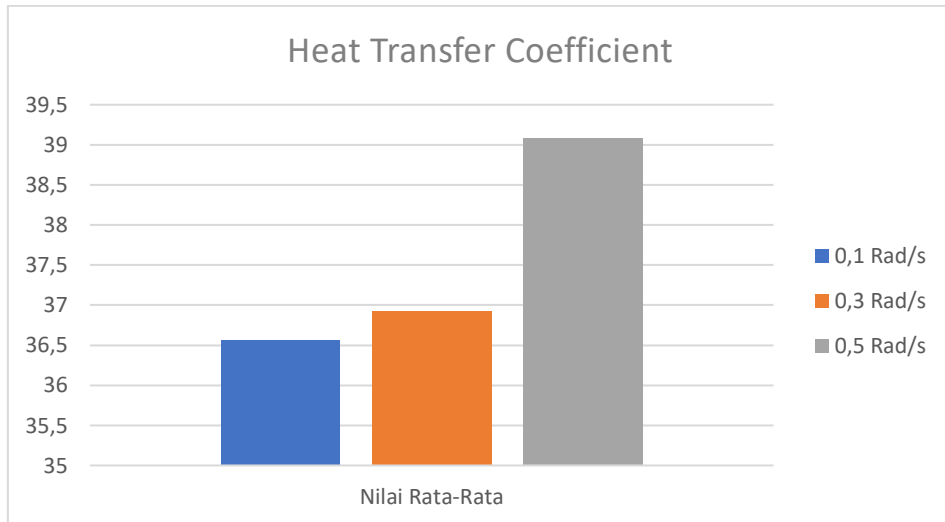
Namun, perbedaan terjadi pada detik ke 10 waktu pengeringan yaitu rentang temperature yang dimiliki oleh variasi pengeringan 0,3 rad/s adalah 301,455 °K sampai 302,727 °K. hal tersebut terjadi karena efek variasi putaran yang diterapkan, pada variasi putaran 0,1 rad/s partikel tidak tercampur atau bergerak dengan sempurna sehingga masih menyisakan partikel bersuhu 301,136 °K di bagian atas.



**Gambar 4.13** Karakteristik Aliran Perpindahan Panas 0,5 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

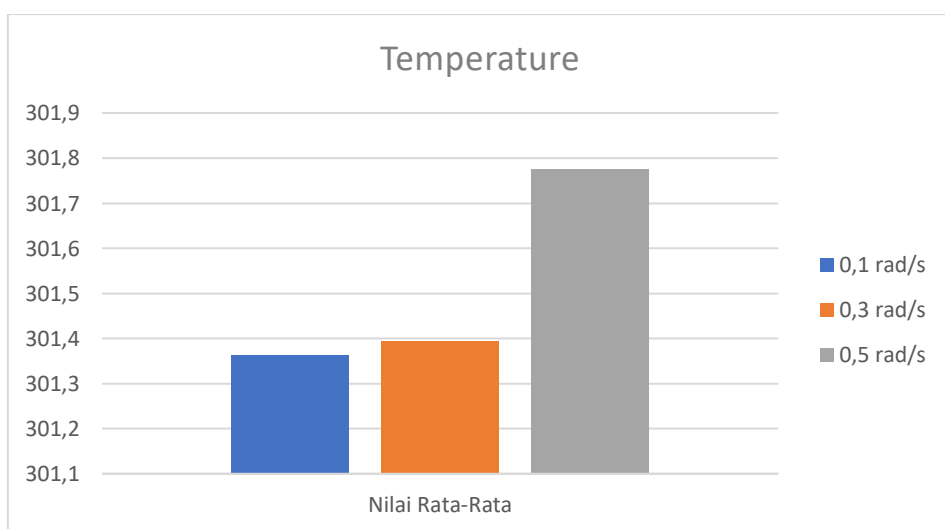
Selanjutnya adalah hasil simulasi karakteristik perpindahan panas yang dihasilkan oleh kecepatan putar *blade* sebesar 0,5 rad/s. pada variasi kecepatan putar inilah dapat terlihat efek yang ditimbulkan dari kecepatan putar *blade* terhadap kecepatan pengeringan partikel. Pada detik ke 2 pengeringan rentang temperature yang dimiliki masih sama seperti variable yang lain yaitu 300,5 °K hingga 300,818 °K.

Selanjutnya pengaruh dari kecepatan putar *blade* semakin terlihat pada detik 6 pengeringan, rentang temperature yang didapat adalah 301,455 °K hingga 302,091 °K. lalu pada detik ke 8 pengeringan temperature yang dimiliki partikel sebesar 301,773 °K hingga 303,045. Dan yang terakhir pada detik 10 temperature yang dihasilkan yaitu 302,727 °K hingga 303,364 °K



**Gambar 4.14** Grafik Perbandingan Nilai *Heat Transfer Coefficient*  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Grafik perbandingan nilai rata-rata *Heat Transfer Coefficient* dapat dilihat pada gambar 4.14 diatas. Nilai HTC yang didapatkan dari simulasi ini sudah sesuai dengan rumus konveksi. Pada detik-detik awal simulasi keadaan alat dapat dikatakan belum stabil sehingga nilai HTC yang didapatkanpun belum stabil. Dapat dilihat pada gambar 4.14 diatas bahwa pada variasi 0,1 rad/s nilai rata-rata yang didapatkan adalah 36,5 lalu naik pada variasi 0,3 rad/s bernilai 36,9 dan nilai HTC tertinggi didapatkan oleh variasi 0,5 rad/s dengan nilai rata-rata 39,08



**Gambar 4.15** Grafik Perbandingan Nilai *Temperature*  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Pada gambar 4.15 diatas disajikan grafik perbandingan nilai temperature rata-rata dari setiap variasi kecepatan putar *blade*. Dari grafik tersebut dapat kita ketahui Bersama bahwa selalu terjadi kenaikan temperature pada partikel, hal ini menandakan bahwa proses simulasi pengeringan yang terjadi pada partikel berjalan dengan baik pada tiap variasi putaran *blade*. Semakin lama proses pengeringan dilakukan maka temperature yang dihasilkan oleh partikel juga akan semakin tinggi juga. Sehingga hal yang mempengaruhi tingginya nilai temperature yang didapatkan adalah lama waktu pengeringan dan juga kecepatan putar *blade* yang digunakan pada alat pengering

Nilai temperature rata-rata yang dimiliki oleh variasi 0,1 dan 0,3 tidak memiliki perbedaan yang cukup jauh jika dibandingkan dengan nilai temperature variasi 0,5. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwasannya pada variasi 0,5 rad/s memiliki aliran perpindahan panas partikel yang lebih baik jika dibandingkan dengan variasi 0,3 rad/s atau bahkan dengan variasi 0,1 rad/s sehingga oleh karena itu temperature yang dimiliki oleh variasi 0,5 rad/s memiliki rentang nilai paling tinggi.

Berdasarkan hasil simulasi yang sudah dilakukan pada proses pengeringan padi dengan 3 variabel kecepatan putar *blade* yang berbeda-beda. Dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar *blade* berpengaruh terhadap kecepatan pengeringan pada partikel (padi). Semakin cepat putaran *blade* pada alat pengering maka akan semakin cepat proses pengeringan yang dilakukan karna panas tersebar lebih merata pada tiap partikel. Hal ini dibuktikan dengan perbedaan rentang temperature padi yang dimiliki masing-masing variable kecepatan yang sudah dijabarkan sebelumnya.

### **4.3 Analisa Karakteristik Perpindahan Massa**

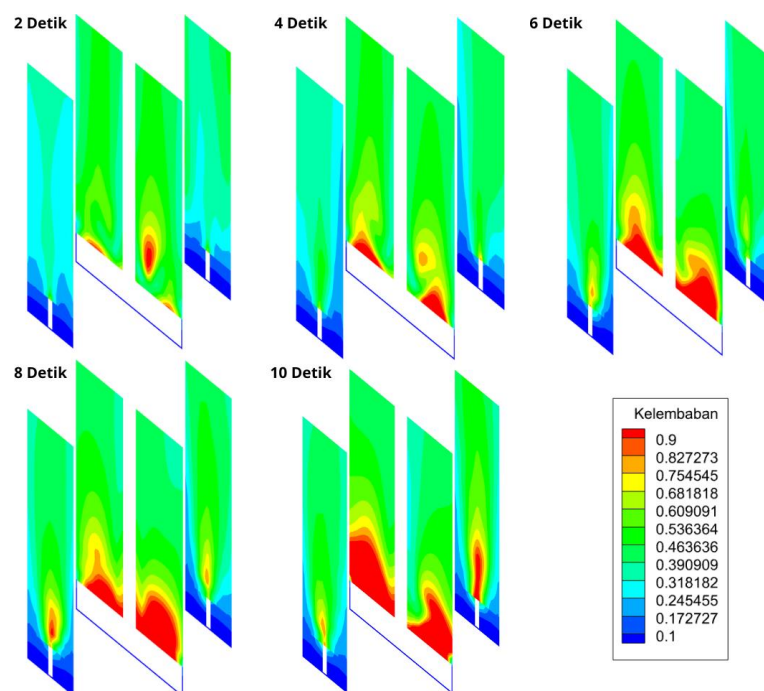
Pada subbab kali ini akan membahas tentang karakteristik perpindahan massa yang terjadi pada alat pengering yang sudah dilakukan proses simulasi. Perpindahan massa yang terjadi meliputi kandungan air yang terdapat di dalam padi dan kelembaban udara di dalam *flat bed dryer*. Kandungan air



mula-mula yang terdapat di dalam padi sebesar 25% dan proses pengeringan ini bertujuan untuk membuat kadar air di dalam padi menjadi 14%.

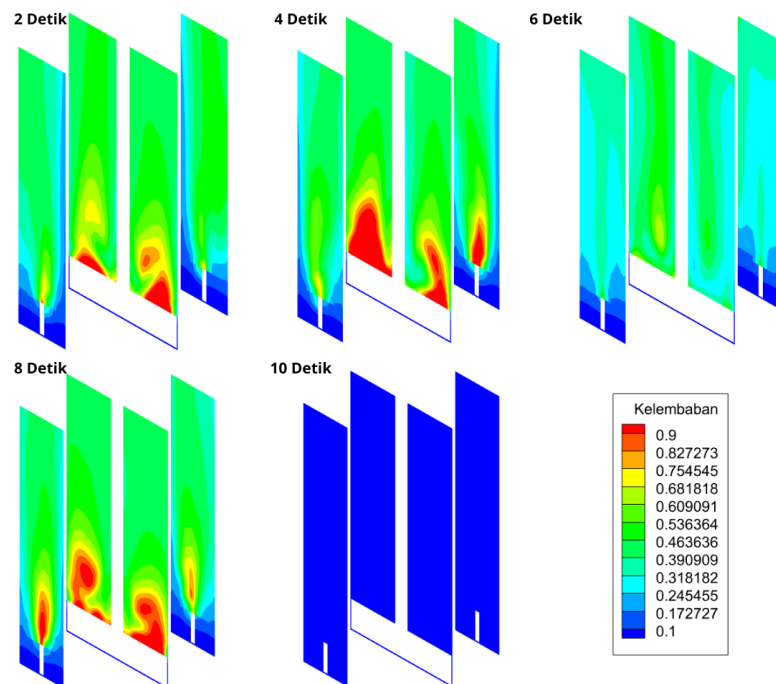
### 4.3.1 Gas

Hasil dari simulasi perpindahan massa gas pada variasi 0,1 dapat dilihat pada gambar 4.16 dibawah ini. Kelembaban alat pengering diatas *blade* berkisar antara rentang 0,31 sampai 0,6 pada sebuah alat pengering rentang nilai kelembaban tersebut dapat dikatakan sangat tinggi. Menyambung dari pembahasan tentang aliran gas, pada variasi kecepatan putar 0,1 aliran gas yang dihasilkan dapat dikatakan belum cukup menyebar hal ini berdampak pada proses perpindahan massa yang terjadi. Dapat dilihat pada detik kedua hingga detik keempat bagian alat pengering yang paling lembab berada pada bagian dasar, hal tersebut terjadi karena pada bagian dasar terdapat partikel (padi) yang belum dilakukan proses pengeringan secara merata. Lalu dapat dilihat pada detik keempat hingga detik kesepuluh terdapat gas dengan kelembaban 0,9 yang terdapat di atas *blade* hal tersebut terjadi karena gas tidak mengalir dengan merata sehingga uap air yang akan menguap menjadi tertahan oleh partikel lainnya sehingga kelembaban udara di atas *blade* menjadi sangat kurang.



**Gambar 4.16** Karakteristik Kelembaban gas Variasi 0,1 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Hasil simulasi perpindahan massa gas dengan variasi kecepatan putar *blade* 0,3 rad/s dapat dilihat pada gambar 4.17 dibawah. jika dibandingkan dengan variasi 0,1 rad/s pada detik kedua hingga detik keempat pengering memang belum ada perbedaan yang terlalu terlihat. Namun, pada detik 10 variasi 0,3 rad/s dapat membuat seluruh alat pengering memiliki kelembaban sebesar 0,1. Perbedaan tersebut sangatlah signifikan sekali mengingat bahwa untuk variasi 0,1 rad/s pada waktu sepuluh detik saja belum bisa membuat alat pengering menjadi lebih lembab.

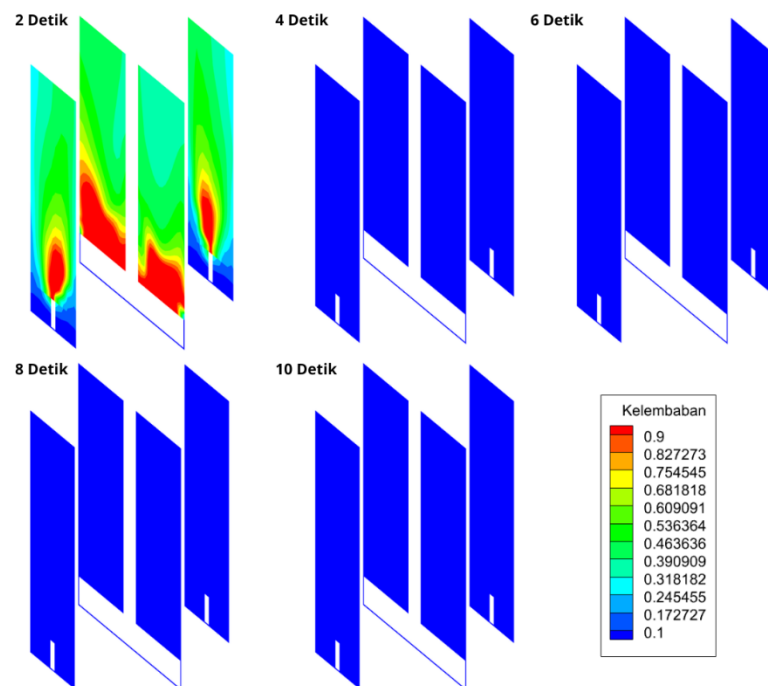


**Gambar 4.17** Karakteristik Kelembaban gas Variasi 0,3 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Selanjutnya hasil simulasi perpindahan massa dengan variasi 0,5 rad/s dapat dilihat pada gambar 4.18 dibawah. jika dibandingkan, hasil yang didapatkan variasi 0,1 dan 0,3 pada waktu 4 detik setara dengan hasil kelembaban selama satu detik pada variasi 0,5. lalu pada detik keempat hingga seterusnya alat pengering pada variasi 0,5 sudah memiliki

kelembaban sebesar 0,1 dan itu rata dari dasar hingga permukaan alat pengering yang menandakan uap air pada partikel sudah sepenuhnya menguap dan bergabung dengan uap air pada gas

Dapat dikatakan bahwasannya variasi dengan kecepatan putar *blade* 0,5 rad/s memiliki nilai perpindahan massa gas yang paling baik, hal tersebut karena semakin cepat putaran *blade* maka aliran gas yang akan terdistribusi akan semakin merata sehingga proses perpindahan panas pun menjadi semakin baik. Karna proses perpindahan panas menjadi semakin baik maka proses penurunan kadar air pada partikel menuju udara ruang menjadi semakin baik juga. Oleh karena itu variasi kecepatan putar 0,5 rad/s memiliki nilai perpindahan massa gas yang jauh lebih baik dibandingkan dengan dua variasi sebelumnya.



**Gambar 4.18** Karakteristik Kelembaban gas Variasi 0,5 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

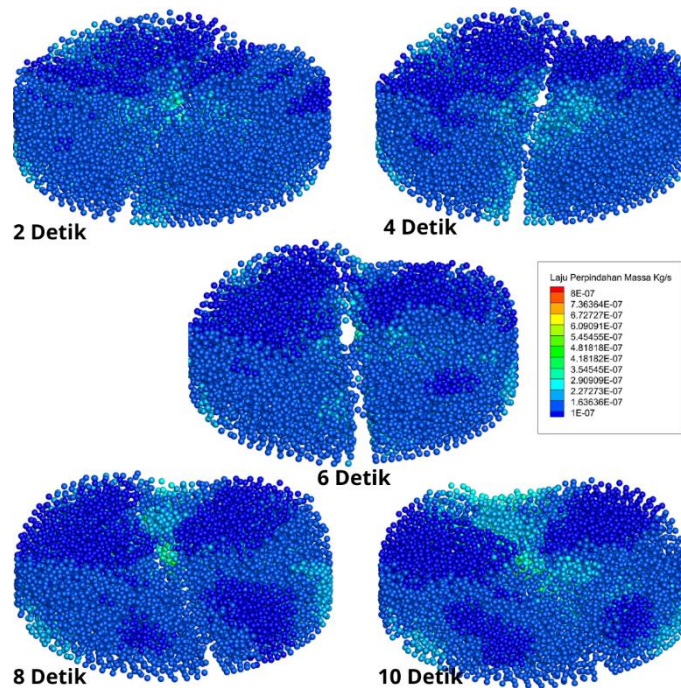
Melalui penjelasan-penjelasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar *blade* berpengaruh kepada proses perpindahan massa gas yang akan terjadi pada alat pengering. Semakin cepat putaran *blade* maka proses perpindahan massa akan semakin cepat, sebaliknya jika putaran

*blade* semakin lambat maka perpindahan massa gas pada alat pengering juga akan semakin lama. Hal ini dibuktikan dengan hasil simulasi yang sudah dijelaskan sebelumnya bahwasannya untuk variasi 0,5 rad/s hanya membutuhkan waktu 4 detik saja untuk membuat kelembaban mencapai titik 0,1. Namun, pada variasi 0,1 rad/s dalam waktu 10 detik pengeringan pun belum bisa mencapai keadaan kelembaban stabil di nilai 0,1 dan untuk variasi 0,3 rad/s baru bisa mencapai nilai kelembaban 0,1 saat sudah sepuluh detik pengeringan. lalu proses perpindahan massa dari gas ini juga akan mempengaruhi kecepatan pengeringan yang terjadi pada alat pengering, jika perpindahan massa gas terlalu lama maka proses pengeringan juga akan semakin lama dan merugikan.

#### 4.3.2 Partikel

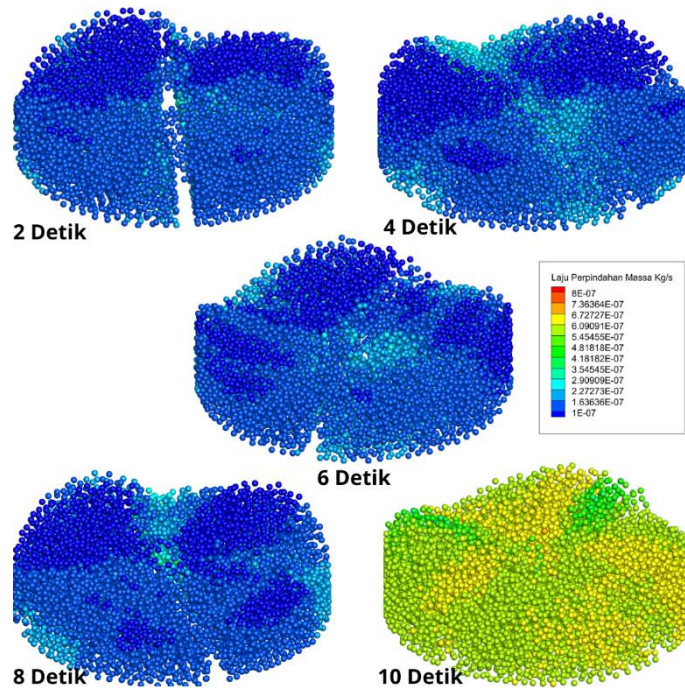
pada gambar 4.19 dibawah dilampirkan hasil simulasi dari proses laju perpindahan massa yang terjadi pada alat pengering dengan variasi kecepatan putar 0,1 rad/s. Dapat kita lihat pada gambar 4.19 pada detik 2 hingga detik 4 nilai laju perpindahan massa berada di rentang  $1 \times 10^{-7}$  hingga  $2,9 \times 10^{-7}$ , Tentu saja pada detik ke 4 lebih banyak partikel yang menyentuh angka  $2,9 \times 10^{-7}$ .

Selanjutnya pada detik 6 hingga detik 10 rentang nilai laju perpindahan massa menjadi  $1 \times 10^{-7}$  hingga  $4,8 \times 10^{-7}$ . Dimana pada detik ke 8 nilai perpindahan massa partikel paling banyak berada di angka  $2,2 \times 10^{-7}$  jika dibandingkan dengan detik 4 tentu mengalami kenaikan. Lalu yang terakhir pada detik 10 mayoritas partikel sudah berada di angka  $2,9 \times 10^{-7}$ . Jika dilihat memang terjadi kenaikan nilai laju perpindahan massa namun hasil yang didapatkan belum maksimal karena putaran blade yang dipakai hanya sebesar 0,1 rad/s yaitu variasi putaran terkecil



**Gambar 4.19** Karakteristik Aliran Laju Perpindahan Massa 0,1 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

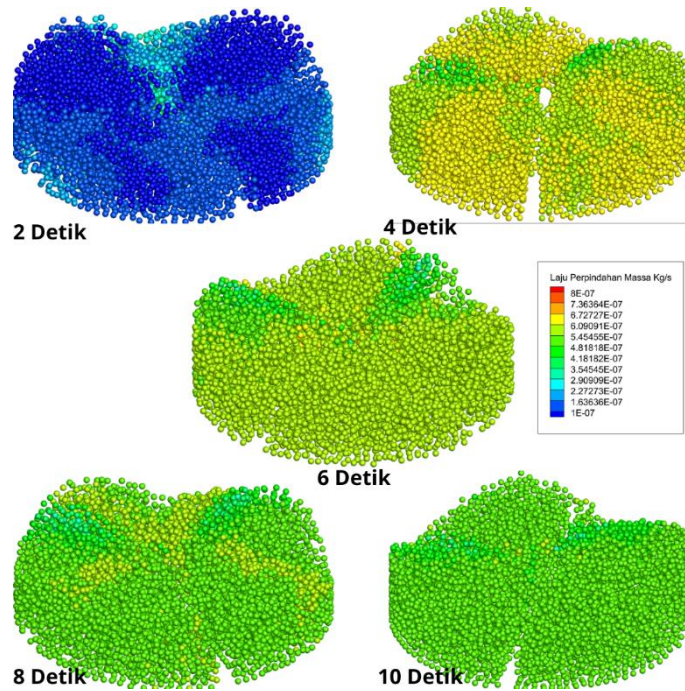
Dapat dilihat hasil simulasi laju perpindahan massa yang terjadi pada alat pengering dengan variasi kecepatan putar *blade* 0,3 m/s pada gambar 4.20 dibawah. Jika dibandingkan dengan variasi 0,1 rad/s tentu saja terdapat perubahan yang cukup signifikan. Pada detik ke 2 hingga detik ke 4 rentang nilai laju perpindahan massa berada pada nilai  $1 \times 10^{-7}$  hingga  $4,8 \times 10^{-7}$  dengan perbedaan mayoritas partikel pada detik 4 berada pada nilai  $2,9 \times 10^{-7}$ . Lalu pada detik 6 dan detik 8 rentang nilai laju perpindahan massa naik menjadi  $1 \times 10^{-7}$  hingga  $5,4 \times 10^{-7}$  kenaikan nilai dapat dikatakan tidak terlalu signifikan namun, pada detik ke 10 terjadi kelonjakan nilai dari  $1 \times 10^{-7}$  hingga  $6,7 \times 10^{-7}$ . Kenaikan nilai tersebut dapat dikatakan cukup besar jika dibandingkan dengan hasil variable sebelumnya pada detik ke 10.



**Gambar 4.20** Karakteristik Aliran Laju Perpindahan Massa 0,3 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

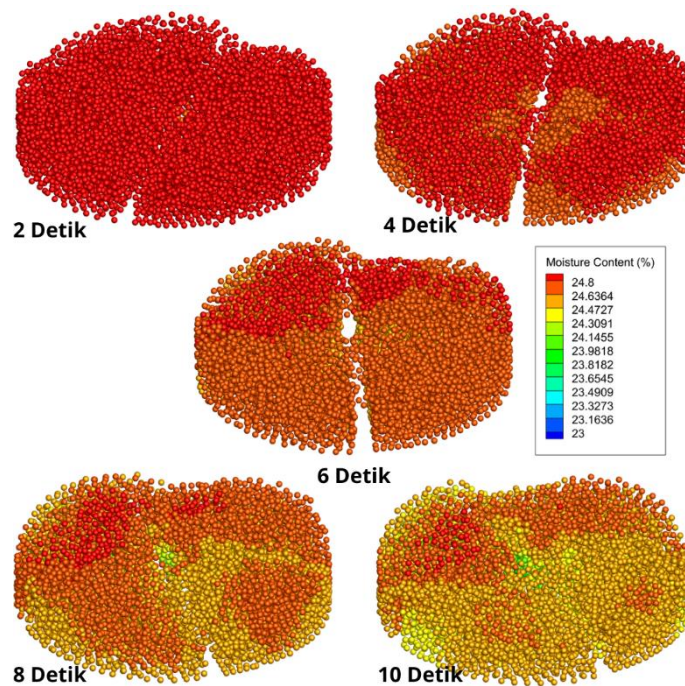
Hasil laju perpindahan massa pada variable yang terakhir yaitu 0,5 rad/s dapat dilihat pada gambar 4.21 dibawah. Hasil yang didapatkan oleh variable ini bisa terbilang sangat baik jika dibandingkan dengan dua variable sebelumnya. Pada detik 2 saja rentang nilai yang didapatkan sudah mencapai  $1 \times 10^{-7}$  hingga  $4,8 \times 10^{-7}$  sedangkan untuk variable 0,3 saja butuh waktu 4 detik. Lalu pada detik ke 4 partikel mencapai titik puncaknya yaitu dengan rentang nilai  $4,8 \times 10^{-7}$  hingga  $7,3 \times 10^{-7}$ .

Lalu perbedaan yang paling signifikan jika dibandingkan dengan variable – variable sebelumnya adalah pada detik 6 hingga detik 10, disini terjadi penurunan laju perpindahan massa yang dapat kita lihat dimana sebelumnya partikel mayoritas sudah berwarna kuning namun Kembali menjadi warna hijau. Penurunan ini dapat terjadi karena pada variasi kecepatan putar *blade* 0,5 rad/s detik keempat sudah mencapai titik tertingginya sehingga kandungan air di dalam partikel menjadi semakin sedikit, hal ini menyebabkan karena kandungan air di dalam partikel semakin sulit untuk diuapkan maka terjadilah penurunan laju perpindahan massa pada partikel.



**Gambar 4.21** Karakteristik Aliran Laju Perpindahan Massa 0,5 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Dari hasil simulasi ke tiga variable kecepatan putar yang sudah dijabarkan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar *blade* memiliki pengaruh yang cukup signifikan pada hasil laju perpindahan massa yang terjadi pada partikel (padi) di dalam alat pengering. Hal ini dibuktikan dengan perbedaan nilai yang diperoleh, contoh pada detik keempat untuk variable 0,1 rad/s nilai tertingginya sebesar  $2,9 \times 10^{-7}$  itupun hanya sedikit partikel saja. Lalu pada variable 0,3 rad/s pada detik keempat nilai tertinggi yang didapatkan yaitu sebesar  $4,8 \times 10^{-7}$  dan masih sangat sedikit partikelnya. Lalu yang terakhir pada variable 0,5 rad/s detik keempat nilai laju perpindahan massa tertinggi berada pada angka  $7,3 \times 10^{-7}$ . Sehingga dapat disimpulkan kecepatan putar *blade* berpengaruh pada laju perpindahan massa yang terjadi pada partikel (padi) di dalam alat pengering.



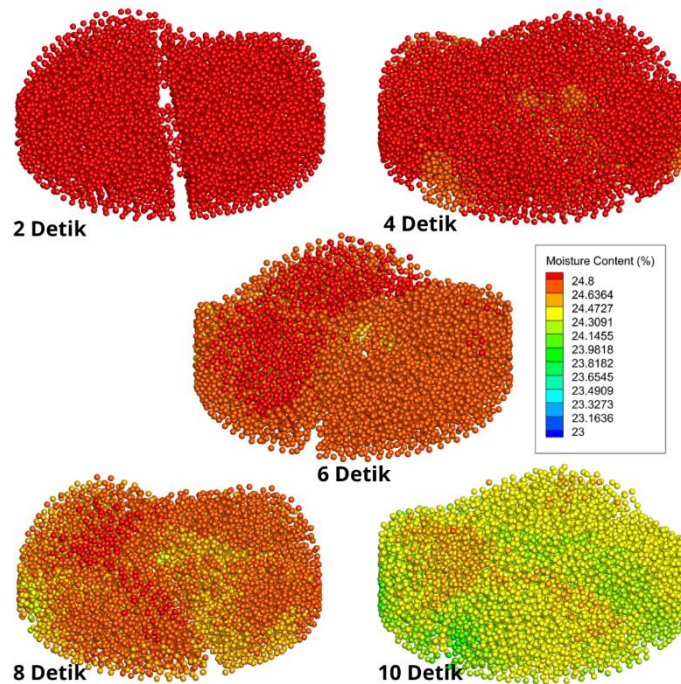
**Gambar 4.22** *Moisture Content* Variasi 0,1 rad/s  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Selanjutnya pada gambar 4.22 diatas dapat dilihat hasil dari kadar air yang dimiliki oleh partikel padi dengan variasi kecepatan putar *blade* 0,1 rad/s. melalui hasil simulasi inilah dapat dilihat efek pengeringan yang dihasilkan oleh variasi kecepatan putar *blade* melalui kadar air yang dimiliki oleh partikel padi itu sendiri. Pada hasil simulasi ini dapat dilihat bahwa terjadi penurunan kadar air pada partikel padi, dimana partikel yang terdapat di bagian dasar alat pengeringlah yang pertama mengalami penurunan kadar air lalu perlahan hingga ke bagian permukaan.

Pada waktu keempat pengeringan partikel yang berada paling dasar mencapai nilai 24,6% namun masih terdapat partikel bernilai kadar air 24,8% (tidak terjadi penurunan kadar air) di bagian permukaan dan masih cukup banyak. Lalu pada detik keenam pengeringan partikel dengan nilai kadar air 24,6% sudah mulai banyak dan menyisakan partikel bernilai 24,8% sedikit di bagian permukaan dan sudah terdapat partikel bernilai 24,3% di bagian dasar, hal ini terjadi karena aliran udara panas tidak tersebar dengan merata sehingga partikel bagian dasar lah yang pertama terkena panas. Selanjutnya pada waktu kedelapan pengeringan rentang nilai kadar



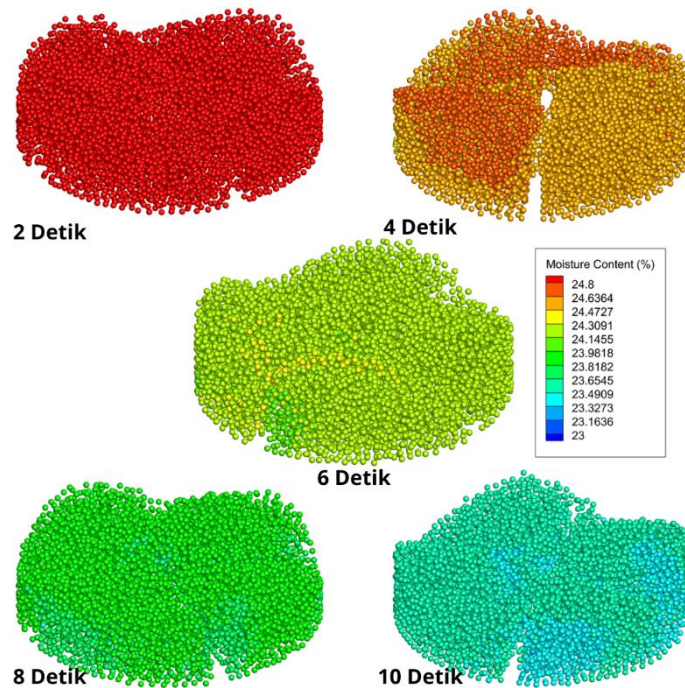
air partikel yang dimiliki sudah mencapai 24,8% sampai 24,1%. Terakhir, pada detik kesepuluh pengeringan rentang nilai kadar air sudah mencapai 24,8% bagian permukaan sampai 23,9% di bagian dasar.



**Gambar 4.23** *Moisture Content* Variasi 0,3 rad/s

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Selanjutnya dapat dilihat hasil simulasi kadar air pada partikel padi dengan variasi kecepatan putar *blade* 0,3 rad/s yang dapat dilihat pada gambar 4.23 diatas. Jika dibandingkan dengan variasi 0,1 rad/s pada detik kedua hingga kedelapan pengeringan belum terjadi perubahan nilai yang begitu signifikan, perbedaan hanya terdapat pada jumlah partikel yang nilai kadar airnya sudah terjadi penurunan. Namun, pada detik kesepuluh pengeringan terjadi perubahan nilai yang cukup signifikan yaitu dengan rentang nilai 24,6% hingga 23,9% dengan catatan jika dibandingkan dengan hasil variasi sebelumnya pada variasi ini partikel dengan nilai kadar air 23,9% sudah lebih banyak dan partikel bernilai 24,6% hanya tersisa sedikit sekali di bagian permukaan.



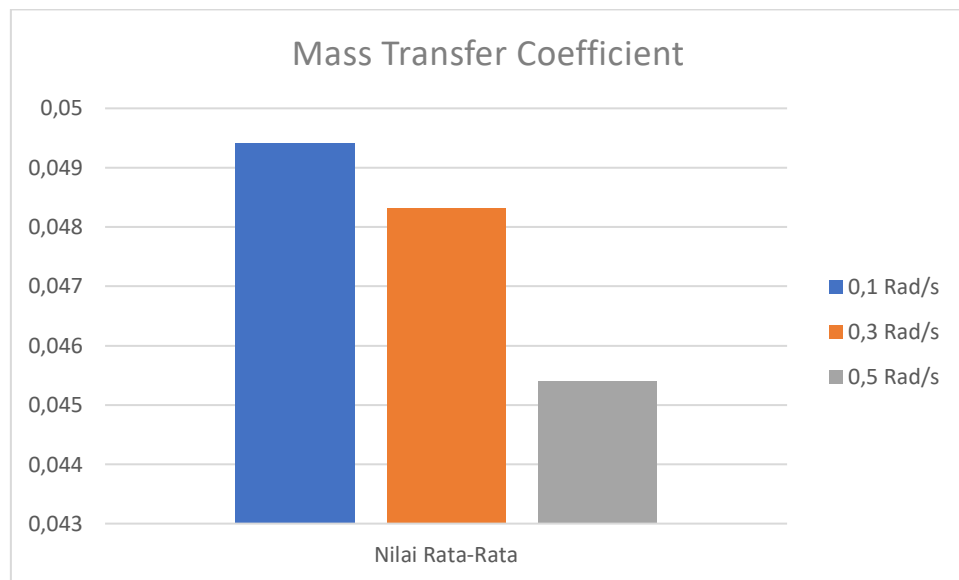
**Gambar 4.24** *Moisture Content* Variasi 0,5 rad/s

(Sumber: Dokumen Pribadi)

Terakhir, hasil simulasi kadar air pada partikel padi dengan variasi kecepatan putar *blade* 0,5 rad/s dapat dilihat pada gambar 4.24 diatas. Jika dibandingkan dengan kedua variasi sebelumnya, pada variasi ini didapatkanlah perubahan yang cukup signifikan pada partikel padi. Dapat dilihat pada detik keempat pengeringan saja rentang nilai kadar air yang dimiliki sudah mencapai angka 24,6% hingga 24,3% dimana untuk mencapai keadaan ini kedua variasi sebelumnya membutuhkan waktu 8 hingga 10 detik. Selanjutnya pada detik keenam rentang nilai sudah mencapai 24,3% hingga 23,9% dan pada detik kedelapan sudah mencapai 23,8% sampai 23,4%. Lalu pada detik kesepuluh pengeringan hasil kadar air yang dimiliki oleh partikel padi sudah mencapai 23,4% hingga 23,1% namun partikel dengan nilai 23,1% hanya sedikit dan berada di bagian dasar alat pengering.

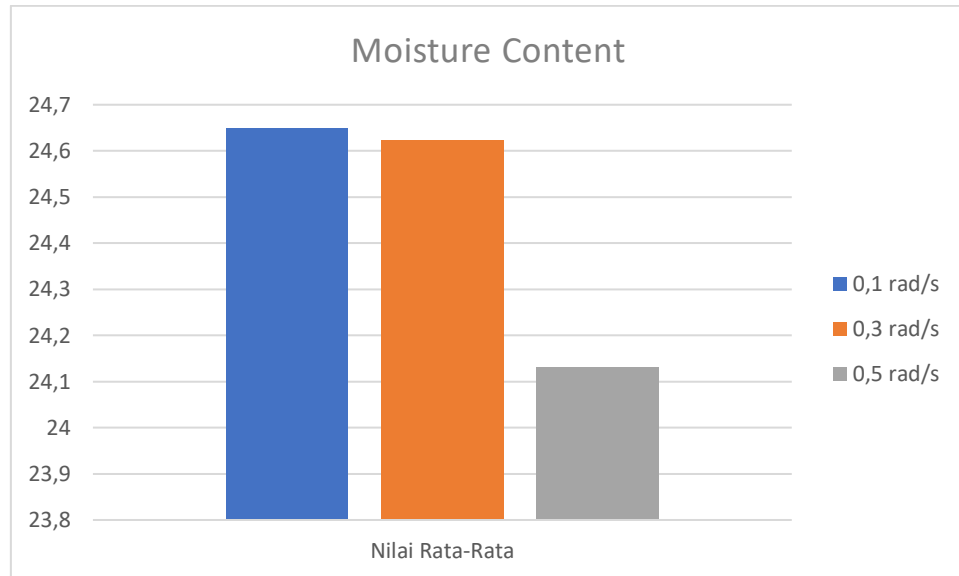
Melalui hasil simulasi nilai *moisture content* yang dimiliki oleh partikel padi pada ketiga variasi kecepatan putar *blade* tersebut dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar *blade* memiliki pengaruh yang cukup signifikan terhadap proses penurunan kadar air pada partikel padi. Hal ini dibuktikan

dengan hasil simulasi yang sudah dijabarkan sebelumnya, pada detik kesepuluh pengeringan pada variasi 0,1 nilai kadar air yang didapatkan adalah 24,8% sampai 23,9% lalu pada variasi 0,3 nilai yang didapatkan 24,6% hingga 23,9% dan yang terakhir pada variasi 0,5 yaitu 23,4% hingga 23,1%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin cepat kecepatan putar *blade* yang digunakan maka akan semakin cepat juga proses penurunan kadar air pada partikel padi.



**Gambar 4.25** Grafik Perbandingan Nilai *Mass Transfer Coefficient*  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Hasil grafik dari nilai rata-rata *mass transfer coefficient* pada ketiga variasi kecepatan putar *blade* dapat dilihat pada gambar 4.25 diatas. Untuk variasi 0,1 rad/s memiliki nilai rata-rata tertinggi yaitu sebesar 0,049 lalu pada variasi 0,3 rad/s terjadi penurunan nilai menjadi 0,048, dapat dikatakan bahwa penurunan nilai MTC tersebut tidak terlalu jauh. Namun, pada variasi 0,5 rad/s terjadi penurunan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan kedua variasi sebelumnya dengan nilai rata-rata yang didapatkan yaitu sebesar 0,045. Hal ini menandakan bahwa semakin cepat putaran *blade* yang digunakan maka akan semakin rendah juga nilai *mass transfer coefficient* yang akan didapatkan.



**Gambar 4.26** Grafik Perbandingan Nilai *Moisture Content*  
(Sumber: Dokumen Pribadi)

Berdasarkan gambar 4.26 diatas dapat kita lihat bahwa nilai kelembaban partikel yang dikeringkan pada ketiga variasi kecepatan putar *blade* semuanya mengalami penurunan. Hal ini menjelaskan bahwa kadar air yang terdapat di dalam partikel (padi) semuanya mengalami penurunan atau bisa disebut mengalami pengeringan. Tentu nilai penurunan kelembaban yang paling baik terjadi pada variasi kecepatan putar *blade* 0,5  $\text{rad/s}$  yaitu dengan nilai rata-rata 24,13%, hal tersebut terjadi karena variasi ini memiliki nilai *mass transfer coefficient* yang paling rendah dan cepat stabilnya sehingga berpengaruh pada nilai kelembaban partikel yang didapatkan. Melalui penjelasan-penjelasan sebelumnya dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar *blade* sangat berpengaruh kepada kecepatan partikel untuk menurunkan kadar airnya (kelembaban), semakin cepat *blade* berputar maka kadar air pada partikel akan lebih cepat berkurang dan begitupun sebaliknya.

Sebagai perbandingan terdapat sebuah penelitian yang dilakukan oleh (Mustofa, 2021) tentang pengaruh kecepatan putar *blade* terhadap kecepatan pengeringan pada sebuah *Rotary Dryer*. Dengan variasi kecepatan putar *blade* 10, 15, dan 20 rpm pada 10 kg padi basah yang dikeringkan selama 30 menit. Penelitian tersebut menghasilkan kesimpulan

yaitu pada variasi 10 rpm dengan suhu 55 °C kadar air yang didapatkan yaitu sebesar 14,9%. Sedangkan pada variasi 20 rpm kadar air yang didapatkan yaitu sebesar 13,4%. Hal ini mendukung pernyataan bahwasannya kecepatan putar *blade* memiliki pengaruh terhadap kecepatan pengeringan pada suatu *dryer*. Dan hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar 4.27 dibawah.

Putaran mesin (rpm)	Pengujian	Kadar air setelah pengeringan (%) pada suhu		
		45 °C	50 °C	55 °C
10	1	16	15	14,6
	2	15,6	14,7	14,2
	3	16,5	15,8	15,1
	Rata-rata	16	15,1	14,9
15	1	15,4	14,7	14,1
	2	15,3	14,8	14,2
	3	14,9	14,6	14
	Rata-rata	15,2	14,7	14,1
20	1	14,7	14,2	13,4
	2	14,4	14,1	13,5
	3	14,5	14,2	13,3
	Rata-rata	14,5	14,1	13,4

**Gambar 4.27** Hasil Penelitian Mustofa

(Sumber: Dokumen Pribadi)

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Penelitian kali ini mendemonstrasikan proses pengeringan partikel padi pada sebuah *flat bed dryer* dengan *blade* yang berputar, lalu simulasi ini menggunakan program CFD-DEM. Dalam simulasi CFD-DEM kali ini menghasilkan tiga jenis data yaitu karakteristik aliran, karakteristik perpindahan panas, dan karakteristik perpindahan massa yang terjadi pada *flat bed dryer*. Berdasarkan hasil simulasi yang sudah didapatkan, dapat diketahui beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Berdasarkan karakteristik aliran partikel yang dihasilkan pada detik 10 menunjukkan bahwa variasi kecepatan putar *blade* 0,1 rad/s memiliki besaran rotasi yang rata pada bagian alat pengering namun arah putarannya tidak seragam. Dan untuk variasi 0,5 rad/s memiliki besaran rotasi yang tidak rata pada bagian alat pengeringnya namun hasil arah putarannya seragam. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi kecepatan putar *blade* dapat mempengaruhi aliran partikel padi yang dihasilkan pada alat pengering.
2. Nilai perpindahan panas partikel pada variasi 0,1 rad/s dengan waktu 10 detik menghasilkan rentang temperature rata-rata sebesar 301,136-302,727 °K. sedangkan pada variasi 0,5 rad/s rentang rata-rata temperature yang dihasilkan adalah sebesar 302,727-303,364 °K. Sehingga berdasarkan hasil perbandingan tersebut dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar *blade* memiliki pengaruh pada karakteristik perpindahan panas yang terjadi di dalam alat pengering pada partikel padi.
3. Nilai laju perpindahan massa partikel pada variasi 0,1 rad/s dengan waktu 4 detik menghasilkan rentang nilai sebesar  $1 \times 10^{-7}$ - $2,9 \times 10^{-7}$ . Lalu pada variasi 0,5 rad/s dengan waktu yang sama nilai yang dihasilkan sebesar  $4,8 \times 10^{-7}$ - $7,3 \times 10^{-7}$ . Lalu nilai *moisture content* yang dihasilkan

pada variasi 0,1 rad/s dengan waktu 10 detik adalah 24,8%-23,9% sedangkan pada variasi 0,5 nilai yang didapatkan sebesar 23,4%-23,1%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kecepatan putar *blade* dapat mempengaruhi hasil kecepatan pengeringan dan juga laju perpindahan massa pada sebuah proses pengeringan partikel padi.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan oleh penulis guna mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai proses pengeringan padi dalam sebuah *flat bed dryer* adalah sebagai berikut:

1. Sebaiknya simulasi dilakukan dengan menggunakan komputer yang memiliki spesifikasi cukup tinggi supaya dapat mempersingkat waktu penelitian
2. Untuk penelitian kedepannya disarankan untuk dapat membuktikan hasil dari *Heat Transfer Coefficient* dengan perhitungan sesuai dengan rumusnya supaya hasil simulasi yang didapatkan dapat dibuktikan kebenarannya
3. Supaya hasil simulasi yang dijelaskan lebih mudah untuk dipahami maka disarankan untuk menampilkan partikel hasil simulasi dalam bentuk aslinya (padi)

## DAFTAR PUSTAKA

- Afrizal Tegar Oktianto, dan P. (2014). Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Blade Tipe Single Row Distributor pada Swirling Fluidized Bed Coal Dryer terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara. *Studi Eksperimen Pengaruh Sudut Blade Tipe Single Row Distributor Pada Swirling Fluidized Bed Coal Dryer Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara*, 3(1), 1–14.
- Alit, I. B., & Susana, I. G. B. (2020). Pengaruh Kecepatan Udara pada Alat Pengering Jagung dengan Mekanisme Penukar Kalor. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 11(1), 77–84. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2020.011.01.9>
- Awangga, Yoga and Alfi, I. (2019). Rancang Bangun Mesin Pengering Gabah Berbasis Nodemcu. *Universitas Teknologi Yogyakarta*, 2(1), 7. [http://eprints.uty.ac.id/2492/1/Naskah Publikasi.pdf](http://eprints.uty.ac.id/2492/1/Naskah%20Publikasi.pdf)
- Azmir, J., Hou, Q., & Yu, A. (2018). Discrete particle simulation of food grain drying in a fluidised bed. *Powder Technology*, 323, 238–249. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2017.10.019>
- Azzamudin, R., & Effendy, S. T. M. (2017). Analisis Distribusi Aliran Udara Pada Ruangan Dengan Variabel Temperatur dan Penempatan AC Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD). [http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/57609%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/57609/21/naskah publikasi revisi.pdf](http://eprints.ums.ac.id/id/eprint/57609%0Ahttp://eprints.ums.ac.id/57609/21/naskah%20publikasi%20revisi.pdf)
- Badan Pusat Statistik. (2022). Laju Pertumbuhan Penduduk. In *Badan Pusat Statistik* (Issue 9, pp. 81–87). <https://www.voaindonesia.com/a/dampak-pandemi-covid-19-bagi-program-kb-di-indonesia/5411570.html%0Ahttps://www.bps.go.id/statictable/2009/02/20/1268/laju-pertumbuhan-penduduk-menurut-provinsi.html>
- Catrawedarma, I. G. N. B. (2019). Pengujian Termal Pengering Gabah Unfixed Flatbed. *Jurnal Elemen*, 5(2), 35. <https://doi.org/10.34128/je.v5i2.70>
- Fachry, M. S. (2022). PERANCANGAN DAN SIMULASI AERODINAMIKA TURBULENCE GENERATOR (TURBULATOR) PADA AIRFOIL NACA S1046 DENGAN SOFTWARE ANSYS FLUENT. UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA.
- Fadila, A., & Bustami, S. (2013). Analisis Simulasi Struktur Chassis Mobil Mesin Usu Berbahan Besi Struktur Terhadap Beban Statik Dengan Menggunakan Perangkat Lunak Ansys 14.5. *Jurnal E-Dinamis*, 6(2), 70–79.
- Harahap, A. (2020). Simulasi Pembebanan Pada Shackle Menggunakan Perangkat Lunak Ansys APDL 15.0. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 4(1), 74–84. <https://doi.org/10.31289/jmemme.v4i1.3811>



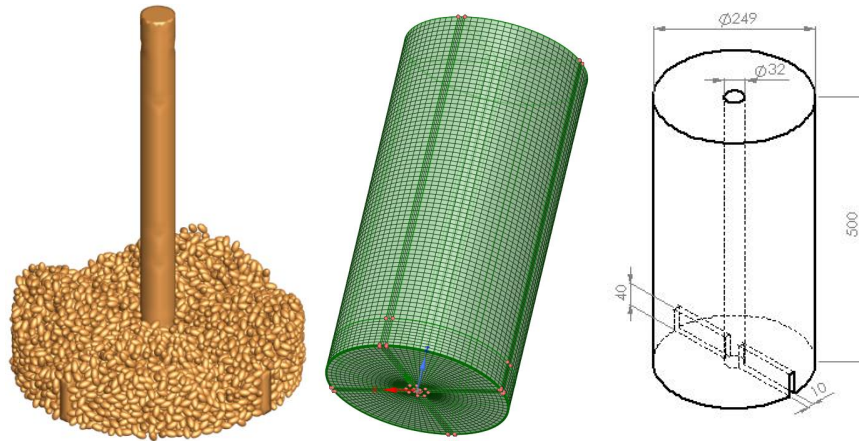
- Hartuti, N., & Sinaga, R. M. (1997). *Pengeringan cabai*. Balai Penelitian Tanaman Sayuran.
- Herman, A. P., Gan, J., Zhou, Z., & Yu, A. (2022). Numerical studies of mixing of ellipsoidal particles in a bladed mixer. *Powder Technology*, 398, 117065. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.117065>
- Hilton, J. E., Mason, L. R., & Cleary, P. W. (2010). Dynamics of gas–solid fluidised beds with non-spherical particle geometry. *Chemical Engineering Science*, 65(5), 1584–1596.
- Hölzer, A., & Sommerfeld, M. (2008). New simple correlation formula for the drag coefficient of non-spherical particles. *Powder Technology*, 184(3), 361–365.
- Ibrahim Ahmad Ibadurrohman, Nurkholis Hamid, L. Y. (2021). *Meshing Strategi Untuk Memprediksi Hambatan Total Pada Kapal Planing Hull*. November 2020, 315–323.
- INSYI, Y. (2019). *STUDI NUMERIK 3D CFD-DEM ALIRAN GAS-PADAT DAN PERPINDAHAN PANAS PADA FLUIDIZED BED DENGAN MULTI-TUBE*. UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA.
- IRAWAN, C. (2017). *STUDI NUMERIK 3D CFD-DEM ALIRAN GASPADAT DAN PERPINDAHAN PANAS DALAM FULL LOOP CIRCULATING FLUIDIZED BED: PENGARUH KECEPATAN UDARA*. UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA.
- Jalaluddin, J., Akmal, S., ZA, N., & Ibrahim, I. (2020). Analisa Laju Korosi Baja Karbon ST-37 dalam Larutan Asam Sulfat dengan Penambahan Inhibitor Ekstrak Daun Tembakau. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 8(2), 53. <https://doi.org/10.29103/jtku.v8i2.2682>
- Krisnanda, L. R., Santoso, A., & Nugroho, T. F. (2020). Analisa Laju Erosi pada Elbow Pipa Karena Partikel Pasir Dalam Aliran Fluida Gas Menggunakan Simulasi CFD. *Jurnal Teknik ITS*, 8(2), 1–6. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v8i2.48218>
- Kurniawan, S., & Kusnaty, A. (2017). Perancangan Hammer Pada Mesin Hammer Mill Menggunakan Metoda Discrete Element Modelling Untuk Meningkatkan Kehalusan Penggilingan Kulit Kopi. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, 3(04), 21. <https://doi.org/10.25124/jrsi.v3i04.223>
- Lomax, H., Pulliam, T. H., Zingg, D. W., Pulliam, T. H., & Zingg, D. W. (2001). *Fundamentals of computational fluid dynamics* (Vol. 246). Springer.
- Luthfie, A. A. (2017). Analisis Pengaruh Perubahan Sudut Pipa Siphon Terhadap Performasi Turbin Hydrocoil Dengan Menggunakan Metode Computational Fluid Dynamic (Cfd). *Jurnal Teknik Mesin*, 6(1), 41. <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i1.1336>
- Mustofa, A. (2021). *Analisis Pengaruh Variasi Putaran Dan Temperatur Drum Terhadap Hasil Pengeringan Gabah Pada Mesin Pengering Biji-Bijian Tipe Rotary Dryer*. 1–13.

- Nusyirwan, N. (2015). Metode Pengering Gabah Aliran Massa Kontinu Dengan Wadah Pengering Horizontal dan Pengaduk Putar. *Mechanical*, 6(2), 82–88. <https://doi.org/10.23960/mech.v6.i2.201512>
- Rahmawan, R. A. (2019). *Analisis Temperatur Proses Pengeringan Padi Mandiri*. 2, 1–13.
- Razin, M. M. (2001). Similarity of Heat-and Mass-Transfer Processes in Drying. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 74(2), 290–297.
- Ridhuan, K., & Rifai, A. (2017). Analisa kebutuhan beban pendingin dan daya alat pendingin AC untuk aula kampus 2 UM Metro. *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 2(2), 7–12.
- Rimadhani, F. F. (2022). *PENGOPERASIAN VERTICAL DRYER PADA PROSES PENGERINGAN BIJI JAGUNG DI WILAYAH KERJA BPP CARINGIN*.
- Sasongko, F. A., Ibrahim, F. Z., Pratama, H. G., Firdautama, H., & Adhana, I. (2020). Pengaruh Buka-an Plat Geser Terhadap Penurunan Tekanan Pada Multi Purpose Duct. *Majalah Ilmiah Mekanika*, December, 1–4. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33374.05443>
- SHIDIQ, M. A. (2022). *Mempelajari Kinerja Dan Perbaikan Mesin Pengering Flat Bed Dryer Di UPJA Saridad*.
- Suhelmi, M. F., Anjani, R. D., & Fauji, N. (2022). Perhitungan Efisiensi Pengeringan pada Mesin Pengering Gabah Tipe Flat Bed Dryer di CV. XYZ. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 17(1), 15. <https://doi.org/10.32497/jrm.v17i1.2848>
- Supriyono. (2003). Mengukur Faktor-Faktor Dalam Proses Pengeringan. *Direktorat Pendidikan Menengah Kejuruan*, 6–15.
- Syahrul, S., Mirmanto, M., Romdani, S., & Sukmawaty, S. (2017). Pengaruh kecepatan udara dan massa gabah terhadap kecepatan pengeringan gabah menggunakan pengering terfluidisasi. *Dinamika Teknik Mesin*, 7(1), 54–59. <https://doi.org/10.29303/d.v7i1.8>
- TRI HARTANTI, J. (2022). *STUDI PENGERINGAN PARTIKEL NON-SPHERICAL DALAM FLUIDIZED-BED MENGGUNAKAN METODE CFD-DEM: PENGARUH KECEPATAN UDARA MASUK*. UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA.
- Wahyudi, H., Chu, K., & Yu, A. (2013). Discrete particle simulation of heat transfer in pressurized fluidized bed with immersed cylinders. *AIP Conference Proceedings*, 1542(1), 1118–1121.
- Wahyudi, H., Handayani, S. U., Handayani, S. U., Wahyudi, H., Agustina, S., Yulianto, M. E., Aryanto, H. D., Chen, X. D., Khanali, M., Zhao, Y., Defraeye, T., Standort, E., Gallen, S., & Muller, C. (2022). *CFD-DEM Study of Heat and Mass Transfer of Ellipsoidal Particles in Fluidized Bed Dryers*.
- Widiawaty, C. D., Siswantara, A. I., & Gunadi, G. G. R. (2016). Kajian Analisis Engineering Dengan Metode Computational Fluid Dynamics. *Jurnal Poli-Teknologi*, 14(3). <https://doi.org/10.32722/pt.vol14.no.3.2015.pp>

- Xu, B. H., & Yu, A. B. (1997). Numerical simulation of the gas-solid flow in a fluidized bed by combining discrete particle method with computational fluid dynamics. *Chemical Engineering Science*, 52(16), 2785–2809.
- Yuliyantika, & Sudarti. (2022). Mekanisme Beberapa Mesin Pengereng Pertanian. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Terapannya (JUPITER)*, 4(1), 20. <https://doi.org/10.31851/jupiter.v4i1.7975>
- Zhou, Z. Y., Pinson, D., Zou, R. P., & Yu, A. B. (2011). Discrete particle simulation of gas fluidization of ellipsoidal particles. *Chemical Engineering Science*, 66(23), 6128–6145.
- Zhu, H. P., Zhou, Z. Y., Yang, R. Y., & Yu, A. B. (2007). Discrete particle simulation of particulate systems: theoretical developments. *Chemical Engineering Science*, 62(13), 3378–3396.

## **LAMPIRAN**

## Lampiran A. Input dan Hasil Simulasi CFD-DEM



Tampak asli simulasi, *Meshing*, dan Desain Alat Pengering

VARIASI 0,5					VARIASI 0,3				
Time	HTC	MTC	Temperature	Moisture Content	Time	MTC	HTC	MC	Temp
0	37,928713	0,049456	300,00001	24,999994	0	0,049456	37,928713	24,999994	300,00001
1,01521	36,6839	0,049389	300,22074	24,943198	1,0152055	0,049719	37,116435	24,94248	300,22261
2,03041	35,768969	0,048763	300,42171	24,893335	2,0304110	0,049264	36,557004	24,88892	300,43632
3,04562	38,999657	0,045390	300,65268	24,802063	3,0456165	0,048872	35,863169	24,839257	300,63512
4,06082	39,104097	0,045385	300,98352	24,593332	4,0608220	0,049542	36,289447	24,789197	300,82874
5,00835	38,736033	0,045232	301,28894	24,405528	5,0083471	0,049752	36,236108	24,738481	301,01904
6,02355	39,100874	0,045329	301,61403	24,211257	6,0235526	0,049806	36,905797	24,682071	301,22715
7,03876	39,275684	0,045529	301,9419	24,022137	7,0387581	0,049177	36,050028	24,627591	301,42980
8,05396	38,883126	0,045358	302,26583	23,838993	8,0539636	0,048786	35,554184	24,576027	301,62224
9,00149	39,047309	0,045365	302,56504	23,673394	9,0014888	0,045253	39,077354	24,469979	301,84775
10,0167	39,49437	0,045648	302,88855	23,499897	10,016694	0,045403	39,431689	24,266292	302,16883

VARIASI 0,1				
Time	Temperature	Moisture content	HTC	MTC
0	300,00001	24,999994	37,928713	0,049455788
1	300,22339	24,942597	36,982137	0,049619129
2	300,44358	24,886211	37,454305	0,049877563
3	300,66391	24,828937	37,369427	0,049824989
4	300,87909	24,773712	37,220931	0,049702246
5	301,07505	24,723018	36,891995	0,049656512
6	301,27979	24,669878	36,555212	0,049355602
7	301,47423	24,619475	35,957096	0,048943815
8	301,66345	24,569998	36,200263	0,049161907
9	301,83881	24,522928	35,87489	0,049137872
10	302,02701	24,471001	36,479321	0,049589633

Nilai Rata-Rata Hasil Simulasi

```
ControlParent x heatmass hopp3d
File Edit View

ipackingandcontinue
1 0
controlheat&radiation&mass
0 1 0
initialcoupling
0 12600
timestop
5000000
ratioitercfddem
20
lsave
2000
NCOUPLING
0
```

Input ControlParent Pada simulasi CFD-DEM

```
ControlParent heatmass x hopp3d jou timesteps vie
File Edit View

Tinitpar
300.
emissivityscattering
0.8 0.001
TFbottomRH
333.16 0.0326
CONDPCPP
0.12748 1110.
Tdencondcapofwall
1000. 2500000000000. 1100000000. 830.
PrandlNumber
0.72
Initialmoisturecontent
0.25
constantainREAmode1
1.058 -6.1099 2.286 -3.405 0.
```

Input Heatmass pada Simulasi CFD-DEM

```

ControlParent  heatmass  hopp3d  x  jou  timesteps  view  ha
File  Edit  View
DiamA,B,C
0.011234  0.0065  0.0065
Blockiness
2  2
DENP
1500.
Particlenumber
6500
Forcemode
1 5 1
onoffshovel  rotation reference point  angular velocity (rad/s)
0 0.125 0.125 0.03 0. 0. 0.3
Fluidinletvelocity
3.5
Timestep
0.001
EMOD,  VPOIS,  EMODWALL
10000000.0  0.3D0  18000000000.0
Initial velocity  NRINGS  NRINGY
0.01D0  12  26
P-P friction  P-W friction
0.30D0  0.30D0
PP N&T damping  P-W N&T damping  Global damping for rotation
0.30D0  0.30D0  0.30D0  0.30D0
Stiffness  Damping Normal  Damping Tangential
5000.D0  100.D0  100.D0
P-P Rolling  P-W Rolling
0.00050D0  0.00050D0

```

## Input Hopped Pada Simulasi CFD-DEM

```

ControlParent  heatmass  hopp3d  jou  timesteps  view  x  +
File  Edit  View
*****
PROGRAM DEM-MATTER
BASED ON DISCRETE ELEMENT METHOD
CREATED BY
HADI WAHYUDI
*****

=====
Particle Size  1.1233999999999999E-002  6.4999999999999997E-003  6.4999999999999997E-003
Density, Time step  1500.0000000000000  3.38401842E-05
Initial Temp, Moist  300.000000  0.25000000000000000
Inlet Temp, Inlet Humidity  333.160004  3.2599999999999997E-002
=====

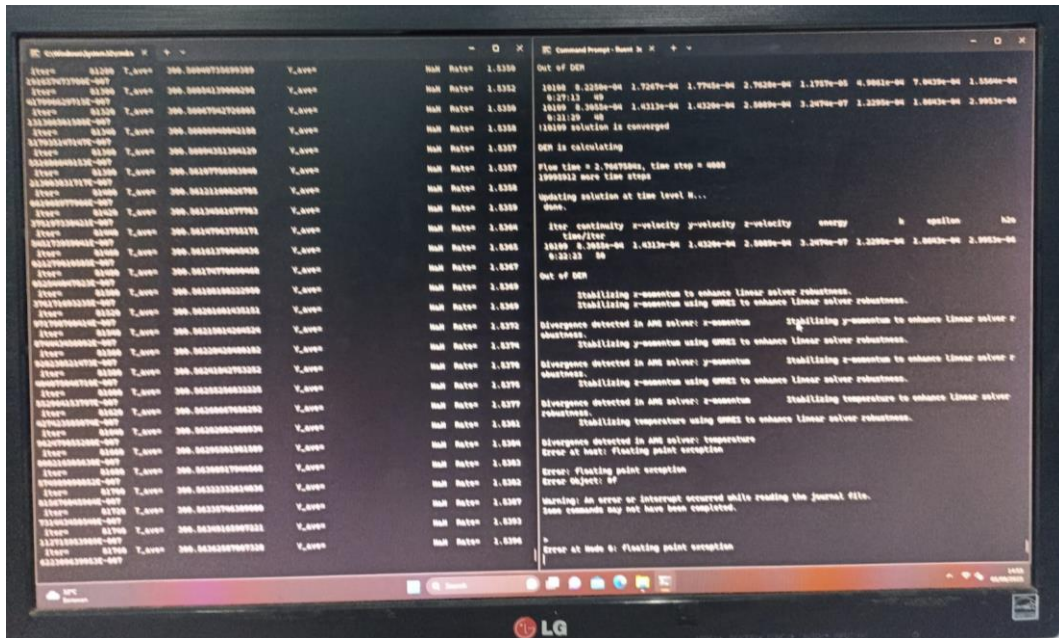
SIMULATION TYPE: SIMULATION
-----

252020 T_ave=  301.70836959050530  Y_ave=  0.97984767984257559  6500
252040 T_ave=  301.70850882286271  Y_ave=  0.97984565590318984  6500
252060 T_ave=  301.70893817963389  Y_ave=  0.97984055122364033  6500
252080 T_ave=  301.70903490158844  Y_ave=  0.97983932684691888  6500
252100 T_ave=  301.70914197852358  Y_ave=  0.97983785185643302  6500
252120 T_ave=  301.70924968955717  Y_ave=  0.97983635657283863  6500
252140 T_ave=  301.70935802134107  Y_ave=  0.97983484169251178  6500

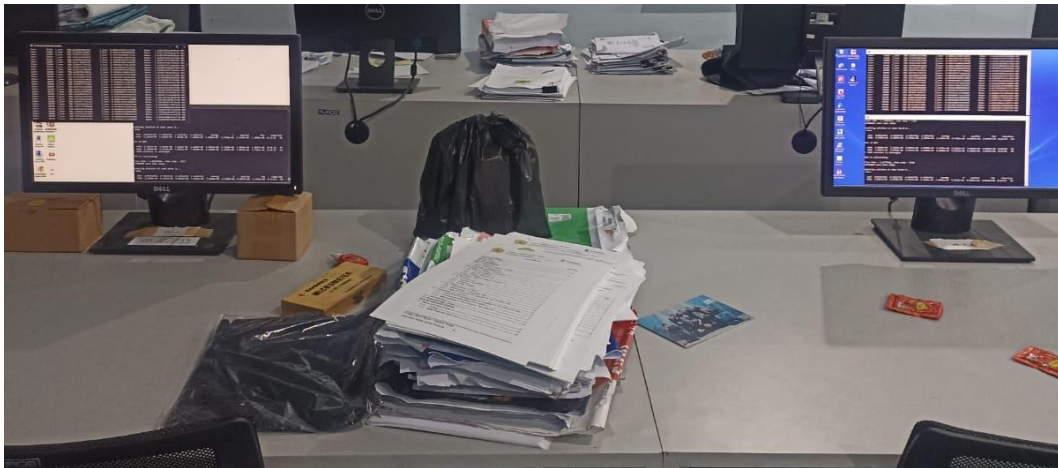
Ln 1, Col 1 230% Windows (CRLF) UTF-8

```

## Tampilan Program DEM-MATTER



Tampilan Simulasi CFD-DEM



Proses Simulasi CFD-DEM