

LAPORAN TUGAS AKHIR
ANALISIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* (CFD)
PADA PERANCANGAN MESIN PENGERING TIPE GANDA



WALEED
NIM 07.16.19.022

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
POLITEKNIK ENJINIRING PERTANIAN INDONESIA
BADAN PENYULUHAN DAN PENGEMBANGAN SDM PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN

2022

LAPORAN TUGAS AKHIR
ANALISIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* (CFD)
PADA PERANCANGAN MESIN PENGERING TIPE GANDA

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Ahli Madya Pertanian (A.Md.P)

Disusun Oleh:

WALEED

NIM 07.16.19.022

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI HASIL PERTANIAN
POLITEKNIK ENJINIRING PERTANIAN INDONESIA
BADAN PENYULUHAN DAN PENGEMBANGAN SDM PERTANIAN
KEMENTERIAN PERTANIAN

2022

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

Judul : Analisis *Computational Fluid Dynamic* (CFD) pada Perancangan
Mesin Pengering Tipe Ganda
Nama : Waleed
NIM : 07.16.19.022
Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian
Jenjang : Diploma Tiga (D III)

Dinyatakan LULUS setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Tugas Akhir
Program Studi D-III Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI).

Serpong, 5 Agustus 2022

1 Penguji I

Dr. Mona Nur Moulia, S.TP., M.Sc.
NIP 19800419 200501 2 001

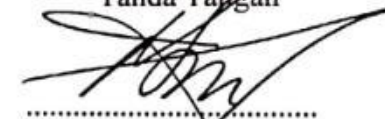
Tanda Tangan



2 Penguji II

Athoillah Azadi, S.TP., MT.
NIP 19831022 201101 1 007

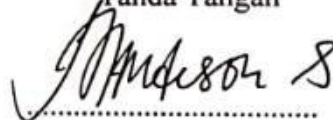
Tanda Tangan



3 Penguji III

Dr. Mardison S, S.TP., M.Si
NIP 19770328 200501 1 000

Tanda Tangan



Mengetahui,

Ketua Program Studi THP
Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia



Dr. Mona Nur Moulia, S.TP, M.Sc.
NIP 19800419 200501 2 001

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

Judul : Analisis *Computational Fluid Dynamic* (CFD) pada Perancangan
Mesin Pengering Tipe Ganda
Nama : Waleed
NIM : 07.16.19.022
Program Studi : Teknologi Hasil Pertanian
Jenjang : Diploma Tiga (D III)

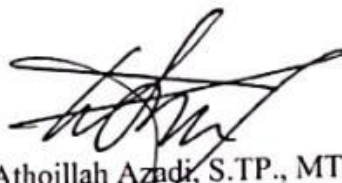
Menyetujui,

Pembimbing I

Pembimbing II



Dr. Mona Nur Moulia, S.TP., M.Sc.
NIP 19800419 200501 2 001



Athoillah Azadi, S.TP., MT.
NIP 19831022 201101 1 007

Mengetahui,

Ketua Program Studi THP




Dr. Mona Nur Moulia, S.TP, M.Sc.
NIP 19800419 200501 2 001

Direktur

Politeknik ~~Enjiniring~~ Pertanian Indonesia




Dr. Maharfiza, S.TP, M.Si.
NIP 19791121 200801 1 007

Tanggal Lulus : Serpong, 05 Agustus 2022

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Waleed
NIM : 07.16.19.022
Judul : Analisis *Computational Fluid Dynamic* (CFD) pada Perancangan Mesin Pengering Tipe Ganda

Menyatakan bahwa Laporan Tugas Akhir ini merupakan karya ilmiah hasil pemikiran sendiri secara orisinil dan saya susun secara mandiri dengan tidak melanggar kode etik hak karya cipta. Laporan Tugas Akhir ini juga bukan merupakan karya yang pernah di ajukan untuk memperoleh gelar akademik tertentu suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari ternyata Laporan Tugas Akhir ini terbukti melanggar kode etik karya cipta atau merupakan karya yang dikategorikan mengandung unsur plagiarisme, maka saya bersedia untuk mempertanggungjawabkan sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya dan sesungguhnya.

Serpong, 5 Agustus 2022

Yang membuat pernyataan,

Waleed
NIM 07.16.19.022

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

**“Kamu Mampu, Pasti mampu, Akan mampu, Terus Mampu,
jangan ada kata Tidak sebelum mencobanya”**

**“Everyone has the same intelligence, but diligent makes
difference”**

I Dedicate this for:

1. My Mother, Mother, and Mother who always give me spirit for continue my education,
2. To all PEPI's Lecturer who always give a positif vibes,
3. To all my friends who contribute on this diploma journey,
4. Last but not least, I wanna thank me. I wanna thank me for believing in me. I wanna thank me for doing all hard work. I wanna thank me for having no days off. I want to thank me for never quitting.

ANALISIS *COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC* (CFD) PADA PERANCANGAN MESIN PENGERING TIPE GANDA

WALEED¹⁾

¹⁾ Mahasiswa Program Studi Teknologi Hasil Pertanian, Politeknik Enjinring
Pertanian Indonesia

ABSTRAK

Perancangan mesin pengering tipe ganda dengan rak dan silinder merupakan rancangan dengan tujuan agar bisa mengeringkan komoditas jenis *chips* dan biji-bijian dalam satu waktu pengeringan sehingga dapat menghemat energi dan waktu. Perancangan mesin pengering memerlukan adanya simulasi *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang digunakan untuk menganalisis distribusi udara panas dan meminimalisir kegagalan dalam perancangan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pola distribusi aliran udara panas dan menentukan desain terbaik dalam perancangan mesin pengering. Parameter yang digunakan dalam input data CFD memiliki suhu 60 °C, kecepatan udara 1 m/s, dan tekanan 1,01 bar dengan waktu yang dianggap konstan. Penelitian ini menggunakan 2 perlakuan yaitu dengan parameter posisi *outlet* (A) berukuran 60 mm x 60 mm dan jumlah lubang di sekat pembatas antara pengering tipe rak dan tipe silinder (L) dengan ukuran 540 mm x 70 mm dan jumlah perlakuan sebanyak 21 perlakuan. Proses penelitian dimulai dari proses *pre-processing* terdiri dari proses pembuatan geometri dan input *boundary condition*, selanjutnya adalah proses *solver* dengan jumlah iterasi rata-rata adalah 298 kali dengan interval 36 detik, dan diakhiri dengan *post-processing* untuk menghasilkan kontur udara panas mesin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan terbaik berdasarkan pola sebaran udara panas adalah perlakuan A2L1L2 yaitu dengan lubang keluaran di A2 dan 2 lubang pembatas yaitu lubang 1 dan 2. Perlakuan ini memiliki nilai rata-rata sebaran suhu sebesar 56,69 °C, standar deviasi 3,55 °C kecepatan udara 1,57 m/s, dan turbulensi 0,021 m/s.

Kata Kunci: CFD, pengering, rak, silinder

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMIC (CFD) ANALYSIS ON THE DOUBLE-TYPE DRYING MACHINE DESIGN

WALEED¹⁾

¹⁾ Agricultural Product Technology Student, Politeknik Enjinring Pertanian
Indonesia

ABSTRACT

The design of a double-type dryer with tray and rotary that will designed to be able to dry chips and grains commodities in one time process for energy and time saving. On designing process, it is necessary to have a Computational Fluid Dynamic (CFD) simulation, that is used to analyze the distribution of hot air and minimize failures in the design. The purpose of this study was to determine the pattern of hot air flow distribution and determine the best design of the drying machine. The parameters used in the CFD input have a temperature of 60 °C, air velocity 1 m/s, and a pressure 1.01 bar with a constant time. This study used 2 treatments, namely the *outlet* position parameter (A) with dimesion 60 mm x 60 mm and the number of holes in the bulkhead between the rack ripe dryer and the gap type (L) with dimesion 540 mm x 70 mm with a total of 21 treatments. This research begin from pre-processing for made geometry and boundary condition input, next is solver process with average iterations 298 with 36 s interval, and the last is post-processing for having hot air contour. The results showed that the best treatment based on temperature patern is the A2L1L2 treatment, with the output A2 and 2 limiting gap, on gap 1 and 2. This treatment had an average temperature distribution of 56.69 °C, deviation 3,55 °C, air velocity 1.57 m/s, and turbulence 0.021 m/s.

Keywords : CFD, dryer, rotary, tray

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang atas rahmat-Nya maka penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan tugas akhir yang berjudul: *Analisis Computational Fluid Dynamic (CFD) pada Perancangan Mesin Pengering Tipe Ganda*. Laporan ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam mendapat gelar Ahli Madya Pertanian (A.Md.P) di Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia. Penulis merasa masih banyak kekurangan pada penulisan maupun materi, mengingat akan kemampuan yang dimiliki penulis, untuk itu kritik dan saran dari semua pihak sangat penulis harapkan demi penyempurnaan pembuatan laporan ini.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada pihak-pihak yang membantu dalam menyelesaikan laporan ini, khususnya kepada:

1. Bapak Dr. Muharfiza, S.TP., M.Si selaku Direktur Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia
2. Ibu Dr. Mona Nur Moulia, S.TP., M.Sc. selaku pembimbing I sekaligus Ketua Program Studi Teknologi Hasil Pertanian
3. Bapak Athoillah Azadi, S.TP., MT. selaku dosen pembimbing II
4. Secara khusus penulis menyampaikan terima kasih kepada keluarga tercinta yang telah memberikan dorongan dan bantuan serta pengertian yang besar kepada penulis, baik selama mengikuti perkuliahan maupun dalam menyelesaikan proposal ini
5. Kepada seluruh teman-teman yang telah berkontribusi dalam penulisan proposal ini.

Akhirnya penulis berharap semoga Allah memberikan imbalan yang setimpal pada mereka yang telah memberikan bantuan, dan dapat menjadikan semua bantuan ini sebagai ibadah, Aamiin Yaa Robbal ‘Alamin.

Tangerang, 5 Agustus 2022

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
ABSTRAK	vi
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan.....	3
1.5 Manfaat	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Prinsip Pengeringan.....	4
2.2 Pengeringan Bahan Hasil Pertanian	4
2.3 Jenis Pengering <i>Rotary Dryer</i> dan <i>Cabinet Dryer</i>	5
2.3.1 <i>Rotary Dryer</i>	5
2.3.2 <i>Cabinet Dryer</i>	6
2.4 Perpindahan Panas.....	7
2.4.1 Konduksi.....	7
2.4.2 Konveksi	7
2.5 <i>Computational Fluid Dynamic</i> (CFD).....	10
2.5.1 Manfaat CFD.....	10
2.5.2 Proses Simulasi CFD.....	11
2.6.3 CFD pada Mesin Pengering	11
2.6 Persamaan Umum Aliran Fluida	12
2.6.1 Hukum Kekekalan Massa	12

2.6.2 Hukum Kekekalan Momentum.....	13
2.6.3 Hukum Kekekalan Energi.....	13
III. METODOLOGI TUGAS AKHIR	15
3.1 Waktu dan Tempat	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.3 Prosedur Pelaksanaan	15
3.4 Perancangan Tugas Akhir	16
3.5 Metode Pengumpulan Data.....	17
3.6 Metode Analisis Data	19
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 <i>Pre-Processing</i>	20
4.2 <i>Solver/Processing</i>	21
4.3 <i>Post-processing</i>	22
4.4 Hasil Simulasi Posisi <i>Outlet</i> dan Jumlah Lubang	22
4.4.1 Suhu.....	23
4.4.2 Kecepatan Udara	23
4.4.3 Turbulensi	24
4.5 Proses Distribusi Aliran Udara Panas.....	25
4.5.1 Distribusi Aliran Udara Panas Keseluruhan Bagian	25
4.5.2 Distribusi Aliran Udara Panas Bagian Rak.....	27
4.5.3 Distribusi Aliran Udara Panas Bagian Silinder.....	28
V. PENUTUP	30
5.1 Kesimpulan	30
5.2 Saran	30
DAFTAR PUSTAKA	31
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 <i>Rotary Dryer</i>	6
Gambar 2.2 <i>Cabinet Dryer</i>	7
Gambar 2.3 Daerah Batas Aliran Laminar dan Turbulen pada Konveksi Paksa	8
Gambar 2.4 Hukum Kekekalan Massa pada Sebuah Elemen Fluida 3 Dimensi...	12
Gambar 2.5 Hukum Kekekalan Momentum Arah Sumbu-X Fluida 3 Dimensi ...	13
Gambar 2.6 Hukum Kekekalan Energi Arah Sumbu-X	14
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Penelitian.....	15
Gambar 3.2 (a) <i>Layout Outlet</i> dan Lubang (B) Isometrik Mesin Pengering.....	17
Gambar 4.1 Tahapan Proses Input Data Simulasi	21
Gambar 4.2 Proses Solving Mesin Pengering	22
Gambar 4.3 Perbandingan Sebaran Suhu dengan Posisi Outlet	23
Gambar 4.4 Perbandingan Kecepatan Udara dengan Posisi Outlet.....	24
Gambar 4.5 Perbandingan Turbulensi dengan Posisi Outlet.....	24
Gambar 4.6 Proses Distribusi Aliran Udara Panas	25
Gambar 4.7(A) Kontur Udara Panas A2L1L2 dan (B) A2L2L3.....	26
Gambar 4.8 Velocity Udara A2L1L2	27
Gambar 4.9 Sebaran Udara Panas dalam Rak A2L1L2.....	28
Gambar 4.10 Sebaran Suhu dalam Rak A2L1L2	28
Gambar 4.11 Udara Panas Silinder A2L1L2.....	29
Gambar 4.12 Sebaran Udara Panas Dalam Silinder A2L1L2	29

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 3.1 Skema Perancangan Tugas Akhir	16
Tabel 3.2 Perlakuan yang Digunakan	18

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Hasil Simulasi 21 Perlakuan.....	35
Lampiran 2. Hasil Perhitungan Simulasi	37
Lampiran 3. Hasil Perhitungan Titik Point	38
Lampiran 4. Proses Input Data	39

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bahan hasil pertanian dikelompokkan menjadi tanaman pangan, hortikultura dan perkebunan. Produk pertanian masuk kedalam produk yang rentan dan mudah rusak serta mutunya dapat menurun dengan cepat (Dewi, 2020). Penanganan pascapanen mulai dari pencucian, sortasi, *grading*, pengeringan, sampai pengemasan merupakan kegiatan yang sangat penting dilakukan untuk meningkatkan nilai tambah dan kualitas produk. Proses pascapanen pada produk pertanian yang berperan penting dalam menjaga umur simpan produk dengan metode pengurangan kadar air melalui proses pengeringan. Kadar air yang tinggi pada bahan akan menyebabkan bahan tersebut mudah terserang mikroorganisme dan busuk (Amanto *et al.*, 2015).

Proses pengeringan pada produk hasil pertanian tergantung pada kondisi bahan dan suhu yang tinggi akan menyebabkan bahan mudah rusak. Proses yang menggunakan suhu pada pengolahan bahan pangan dapat menyebabkan perubahan karakteristik kimia, organoleptik, dan kandungan gizi pada suatu bahan (Nilasari *et al.*, 2017). Pengeringan yang biasa dilakukan oleh masyarakat adalah dengan menggunakan panas sinar matahari yang memerlukan waktu yang lama, tergantung cuaca,serta tidak higienis. Pengeringan yang disarankan adalah menggunakan mesin (Pradana dan Puja, 2009). Produk pertanian yang dikeringkan biasanya terdiri dari bentuk *chips* seperti pisang, rimpang-rimpangan, singkong dan bentuk biji seperti padi, kopi, kedelai dan masih banyak lagi.

Mesin pengering yang biasa digunakan di masyarakat adalah mesin pengering tipe rak untuk pengeringan bentuk *chips* dan tipe silinder untuk pengeringan biji-bijian. Mesin pengering tipe rak biasanya memiliki kekurangan yaitu proses sebaran udara panas yang tidak merata hanya pada bagian dekat pemanas saja sehingga harus sering melakukan pergantian posisi *tray*. Mesin pengering tipe silinder hanya bisa mengeringkan jenis bahan-bahan tertentu saja namun sebaran udara panas yang dihasilkan merata ke seluruh permukaan bahan yang dikeringkan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, dirancang mesin pengering yang memiliki sistem ganda yang bisa mengeringkan bahan dengan karakteristik yang berbeda dalam satu mesin. Mesin pengering yang dirancang memiliki dua bagian yaitu bagian atas tipe silinder dan bagian bawah adalah tipe rak. Proses aliran udara panas yang dihembuskan akan mengalir kebagian rak dan kemudian terarah ke bagian atas untuk pengering silinder.

Salah satu parameter penting yang menjadi penentu kualitas hasil pengeringan yaitu suhu pengeringan sehingga proses pengeringan tidak merusak kandungan kimia yang terdapat dalam bahan pertanian. Proses kerusakan kandungan kimia bahan diakibatkan distribusi panas pengering yang tidak merata dan atau dengan suhu yang berlebih. Sebelum dilakukan proses fabrikasi, diperlukan analisis yang bertujuan untuk mengoptimalkan kerja mesin pengering dan aliran fluida di ruang pengering yang menyebar keseluruhan bagian dalam mesin agar lebih efisien dan efektif (Nababan, 2018). Analisis yang dilakukan dalam perancangan mesin pengering yaitu *Computational Fluid Dynamics* (CFD).

Menurut Nababan (2018) proses pengembangan mesin pengering memerlukan biaya dan waktu yang tidak sedikit, dan untuk meminimalisir kegagalan dalam proses rancangbangun, maka dapat mengaplikasikan teknologi simulasi CFD kedalam proses perancangan. Analisis CFD menggunakan analisis numerik yaitu pengontrolan volume elemen yang terintegrasi dari persamaan keseimbangan massa, energi, dan momentum (Versteeg dan Malalasekera, 2007). Simulasi CFD pada mesin pengering sangat perlu dilakukan untuk mengetahui kondisi lingkungan dan kontur udara panas pada rancangbangun mesin pengering terutama untuk mengeringkan makanan (Castaño-Rodríguez *et al.*, 2018).

Proses analisis perancangan mesin pengering tipe ganda yang dilakukan adalah proses analisis CFD. Analisis ini menggunakan parameter suhu, kecepatan, dan turbulensi untuk mengetahui distribusi suhu optimum yang menyebar di dalam permukaan mesin.

1.2 Rumusan Masalah

Pokok-pokok yang akan menjadi rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana distribusi aliran udara panas dan suhu pada mesin pengering tipe ganda ?
2. Bagaimana rancangan yang optimal untuk mesin pengering tipe ganda pada proses simulasi ?

1.3 Batasan Masalah

Dalam perancangan dan tugas akhir ini perlu diberikan batasan permasalahan dari rancangan alat pengering dan pemodelan yaitu :

1. Aliran fluida hanya diselesaikan menggunakan *software SolidWorks*
2. Model yang digunakan dalam bentuk tiga dimensi (3D)
3. Dimensi mesin disesuaikan dengan mesin yang akan dibuat
4. Aliran fluida yang diuji meliputi suhu, tekanan, kecepatan udara, dan turbulensi

1.4 Tujuan

Tugas akhir ini bertujuan agar:

1. Mengetahui distribusi aliran udara panas dan suhu pada mesin pengering tipe ganda
2. Mengetahui rancangan mesin pengering tipe ganda yang optimal pada proses simulasi

1.5 Manfaat

Tugas akhir ini bermanfaat untuk:

1. Meningkatkan pengetahuan mengenai proses distribusi aliran udara panas menggunakan analisis CFD pada mesin pengering
2. Mempermudah proses analisis udara panas menggunakan *software flow simulation SolidWorks* untuk analisis CFD

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Prinsip Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pengurangan kadar air pada suatu bahan yang memerlukan udara panas sebagai medianya. Pengeringan dilakukan untuk memindahkan kandungan air dari permukaan bahan secara bersama melalui media pengeringan (Thaib *et al.*, 1988). Pengeringan berfungsi untuk mengeluarkan sebagian besar air dalam bahan pangan melalui penguapan. Penguapan air dalam bahan terjadi dalam 3 fase, yaitu: pemanasan pendahuluan atau penyesuaian temperatur bahan yang dikeringkan, pengeringan dengan kecepatan konstan, dan pengeringan dengan kecepatan menurun (Treybal, 1980). Proses pengeringan terjadi karena perpindahan panas dan perpindahan massa. Perpindahan panas yang terjadi antara bahan dengan medium pengering terjadi secara konduksi dan radiasi, sedangkan perpindahan massa terjadi secara konveksi (Sitompul dan Malinda, 2021).

Pengeringan merupakan suatu proses penting yang terjadi dalam industri pangan karena pengeringan dapat digunakan untuk mengawetkan bahan pangan yang mudah rusak ataupun busuk saat penyimpanan, sehingga secara tidak langsung pengeringan dapat memperpanjang umur simpan suatu produk. Berdasarkan penelitian Hardianti (2017) dalam proses pengeringan ada beberapa faktor yang mempengaruhi prosesnya yaitu luas permukaan, suhu, kecepatan udara, kelembaban udara, tekanan udara, dan waktu pengeringan.

2.2 Pengeringan Bahan Hasil Pertanian

Menurut Dewi (2020), bahan hasil pertanian yang banyak berkembang di Indonesia adalah sereal, kacang-kacangan, umbi-umbian, hortikultura, produk perkebunan, produk peternakan, dan produk perikanan. Bahan hasil pertanian memiliki kualitas yang *perishable* (mudah rusak), *semi perishable* (semi mudah rusak), dan *non perishable* (tidak mudah rusak), kerusakan yang biasanya terjadi biasanya dipengaruhi oleh kadar air semakin tinggi kandungan air pada suatu bahan sehingga semakin cepat produk tersebut akan rusak.

Bahan pertanian memiliki perbedaan karakteristik setiap jenisnya sehingga perlu perlakuan panas yang berbeda setiap jenisnya. Pada produk sereal seperti

kedelai suhu yang paling optimal adalah sebesar 45 °C selama 10 jam (Park *et al.*, 2018) dan begitupun untuk produk rimpang-rimpangan, berdasarkan penelitian Suhendra (2017) bahwa pada pengeringan jahe merah terbaik adalah sebesar 45 °C dengan lama waktu 15 jam dapat mempertahankan kandungan antioksidan yang tinggi pada produk jahe kering.

Pengeringan terbaik untuk produk buah-buahan seperti pisang menggunakan suhu 75 °C selama 21 jam dapat mempertahankan kandungan vitamin C paling tinggi dibandingkan perlakuan lain (Marwati *et al.*, 2017). Produk perkebunan seperti kopi yang dikeringkan dengan *rotary dryer* suhu yang optimal digunakan adalah 70 °C selama 6,5 jam dan mampu menurunkan kadar air sampai 12% dengan efektivitas termal 68,8-79%.

2.3 Jenis Pengering *Rotary Dryer* dan *Cabinet Dryer*

2.3.1 *Rotary Dryer*

Rotary dryer adalah jenis pengering dengan ruangan berbentuk silinder yang berputar dimana bahan yang dikeringkan jatuh di dalam ruang pengering dan terus berputar dengan udara panas yang dimasukkan ke dalam pengering dan langsung menangani bahan (Rohanah, 2006). *Rotary Dryer* mendapat aliran udara melalui poros silinder horizontal berputar yang dialiri udara panas untuk menguapkan air pada bahan. Penggunaan silinder horizontal berputar dimaksudkan untuk memungkinkan aliran udara mengalir secara merata melalui permukaan produk yang dikeringkan (Aman *et al.*, 2013).

Pengering tipe *rotary* biasa digunakan untuk mengeringkan bahan yang berbentuk bubuk, granular, gumpalan partikel padat dengan ukuran besar. Sumber panas yang digunakan dapat berasal dari uap listrik, batubara, kayu dan gas (Zikri dan Rusnadi, 2015). Mesin ini terdiri atas silinder yang berputar sehingga bahan yang terdapat di dalamnya akan ikut berputar, pada pengeringannya permukaan atas akan mengalami proses pengeringan, begitu juga pada seluruh bagian yaitu atas dan bawah secara bergantian (Faisal, 2018). Tumbel (2016), merancang mesin *rotary dryer* sederhana untuk pengeringan jagung berkapasitas 50 kg dan hasil uji coba pada produk tidak terdapat kerusakan pada jagung baik butir pecah maupun perubahan warna dan *losses* yang terjadi sebanyak 1% yang disebabkan tertinggalnya bahan di dalam alat. Bahan lainnya yang bisa dikeringkan dengan

rotary dryer adalah gabah (Nusyirawan, 2014), pati sagu (Aman *et al.*, 2013), dan kopi (Prawira, 2015).



Gambar 2.1 *Rotary dryer* (Yerizam *et al.*, 2019)

2.3.2 *Cabinet Dryer*

Cabinet dryer atau pengering tipe rak adalah alat pengering yang menggunakan udara panas dalam ruang tertutup (*chamber*). Ada dua tipe yaitu *tray dryer* dan *vacuum dryer*. *Vacuum dryer* menggunakan pompa dalam penghambusan udara, sedangkan pada *tray dryer* tidak menggunakan pompa (Singh, 2001).

Cabinet Dryer merupakan jenis pengering yang menggunakan *tray* berlubang sebagai media pengeringan yang disusun secara vertikal dan dialiri udara panas, perpindahan panas yang terjadi adalah konveksi dan konduksi (Rohanah, 2006). Perpindahan panas yang terjadi pada *cabinet dryer* secara konveksi, digunakan aliran udara kering yang mengalir secara alami dan secara konduksi digunakan secara bertingkat. Sistem pengering ini menggunakan udara pengering sebagai medium pemanas bahan (Napitupulu dan Tua, 2012). Bahan yang biasanya dikeringkan pada produk ini adalah bahan yang berbentuk *chips*, seperti pada pengeringan jahe merah (Lestari *et al.*, 2020), kunyit (Syam *et al.*, 2019), *chips* mocaf (Susanti dan Sirwanti, 2018), dan pisang (Anggoro, 2013).



Gambar 2.2 *Cabinet dryer* (Nayak *et al.*, 2018)

2.4 Perpindahan Panas

Perpindahan panas adalah proses perpindahan energi panas yang diakibatkan oleh perbedaan suhu ruang, dan hal tersebut terjadi karena karena kontak suatu sistem atau antara sistem panas lainnya (Bockh dan Wetzel, 2012). Ada dua bentuk perpindahan panas yang sering digunakan dalam proses pengeringan yaitu:

2.4.1 Konduksi

Konduksi merupakan perpindahan panas dari tempat yang memiliki suhu yang tinggi ke tempat yang memiliki suhu rendah di dalam medium langsung. Jika pada suatu benda terdapat gradien suhu, maka akan terjadi perpindahan panas dan perpindahan energi dari bagian yang bersuhu tinggi ke bagian yang bersuhu rendah, sehingga dapat dikatakan bahwa energi akan berpindah secara konduksi, laju perpindahan kalornya dinyatakan sebagai (Holman, 2000):

$$Q = -kA \frac{\partial T}{\partial x} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

- Q = Laju perpindahan kalor (W)
- $\frac{\partial T}{\partial x}$ = Gradien suhu perpindahan kalor
- k = Konduktivitas termal bahan (W/m.K)
- A = Luas bidang perpindahan kalor (m²)

2.4.2 Konveksi

Konveksi merupakan perpindahan panas antara permukaan padat dan berdekatan dengan fluida yang bergerak atau mengalir dan itu melibatkan pengaruh konduksi dan aliran fluida. kecepatan fluida yang mengalir di

permukaan plat panas mempengaruhi temperatur di sekitar permukaan plat tersebut. Laju perpindahan kalor secara konveksi dapat dinyatakan sebagai (Holman, 2000):

$$Q = hA(T_s - T_\infty) \dots \dots \dots (2.2)$$

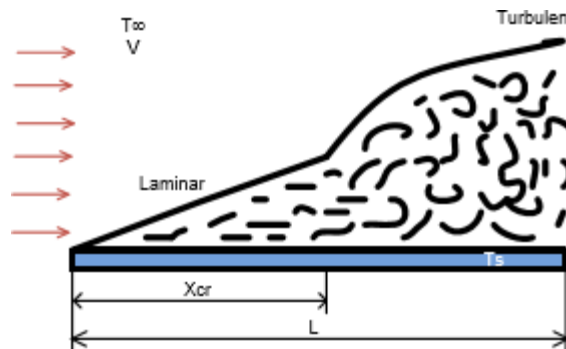
Dimana:

- Q = Laju perpindahan kalor (W)
- h = Koefisien perpindahan panas konveksi (W/m.K)
- A = Luas penampang (m^2)
- T_s = Temperatur Permukaan benda/plat (K)
- T_∞ = Temperatur fluida yang mengalir dekat permukaan (K)

Perpindahan panas secara konveksi terdiri atas dua jenis yaitu:

1. Konveksi Paksa

Konveksi paksa merupakan konveksi yang diakibatkan oleh fluida yang terdapat pada permukaan plat. Pada konveksi paksa fluida dipaksa untuk mengalir dengan bantuan alat tertentu, misalnya kipas angin dan blower. Aliran fluida pada plat dengan arah aliran laminar dan turbulen (Gambar 2.3).



Gambar 2.3 Daerah batas aliran laminar dan turbulen (Ambarita, 2011)

Fluida mengenai permukaan plat dengan kecepatan dan temperatur yang seragam. kecepatan dimulai dengan batas aliran laminar, tetapi jika plat cukup panjang, aliran menjadi turbulen pada jarak tertentu dari permukaan depan dimana bilangan Reynold memperoleh nilai kritis untuk daerah transisi. Transisi dari aliran laminar ke turbulen bergantung pada geometri permukaan, kecepatan, temperatur permukaan, jenis fluida yang menjadi karakter penentu bilangan Reynold. Bilangan Reynold pada jarak tertentu dari sisi terdepan plat datar dinyatakan dalam rumus 2.3 (Ambarita, 2011):

$$Re = \frac{\rho Ux}{\mu} = \frac{Ux}{\nu} \dots \dots \dots (2.3)$$

Dimana :

- Re = Bilangan Reynold
- ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)
- U = Kecepatan fluida mengalir (m/s)
- x = Jarak yang dihitung dari sisi terdepan sampai titik x (m)
- μ = Viskositas fluida (N.s/m^2)
- ν = Viskositas kinematik fluida (m^2/s)

2. Konveksi Bebas

Konveksi bebas disebabkan karena fluida yang densitasnya berubah dikarenakan proses pemanasan sehingga fluida dapat bergerak naik. *Heater* ruangan adalah salah satu contoh penggunaan konveksi bebas. Gerakan fluida dalam konveksi bebas baik fluida gas maupun cair, terjadi karena gaya apung yang dialami apabila densitas fluida di dekat permukaan perpindahan kalor berkurang sebagai akibat proses pemanasan. Gaya apung ini tidak akan terjadi apabila fluida tidak mengalami suatu gaya dari luar yang dapat menghasilkan arus konveksi bebas.

Laju perpindahan panas konveksi bebas dapat dilakukan berdasarkan teori perpindahan panas yaitu (Ambarita, 2011):

$$Nu_L = \frac{hL}{k} = Ra^n \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

- Nu_L = Bilangan Nusselt
- h = Koefisien perpindahan panas konveksi ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- k = Konduktivitas termal bahan (W/m.K)
- L = Dimensi dari struktur (m)
- Ra = Bilangan Rayleigh
- n = 1/4 untuk aliran laminar dan 1/3 untuk aliran turbulen

Ra adalah bilangan Rayleigh yang ditentukan dari perhitungan Grashof dan Prandtl dengan rumus:

$$Ra = Gr_L Pr \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan bilangan Grashof dan Prandtl sebagai berikut:

$$Gr_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)}{\nu^2} L^3 \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Pr = \frac{c_p \mu}{k} \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- Gr_L = Bilangan Grashof (m/s^2)
- g = Percepatan gravitasi (m/s^2)
- β = Koefisien ekspansi volume, $1/K$ ($\beta = 1/T$ untuk gas ideal)
- T_s = Temperatur permukaan (K)
- T_∞ = Temperatur fluida ruangan (K)
- L = Dimensi geometri (m)
- ν = Viskositas kinematik fluida (m^2/s)
- C_p = Panas spesifik (kJ/kg.K)
- k = Konduktivitas termal bahan (W/m.K)
- μ = Viskositas fluida ($N.s/m^2$)

2.5 Computational Fluid Dynamic (CFD)

Menurut Ambarita (2011), CFD merupakan cabang dari mekanika fluida yang digunakan untuk menganalisis elemen elemen fluida untuk dibuat menjadi suatu simulasi, dalam prosesnya proses simulasi menggunakan CFD ini akan selesai dengan cepat dan akurat. CFD menganalisis sistem aliran fluida, panas dan fenomena lain seperti reaksi kimia yang menggunakan simulasi berbasis komputer dengan menyelesaikan persamaan-persamaan matematika yang menjelaskan mengenai hukum-hukum konversi massa, momentum dan energi (Tuakia, 2008).

CFD bisa digunakan sebagai penentu jenis pengering yang terbaik dalam proses desain untuk proses selanjutnya yaitu manufaktur seperti rancangbangun mesin pengering kabinet dengan sirip dalam dan tanpa sirip dihasilkan bahwa pengering dengan sirip menghasilkan penyebaran suhu yang lebih seragam (Sulistiono, 2021). Dalam menyelesaikan proses pemodelan menggunakan fluida harus menentukan terlebih dahulu tujuan pemodelan, pemilihan model komputasi, pemilihan model fisik dan penentuan prosedur simulasinya.

2.5.1 Manfaat CFD

Menurut Tuakia (2008) ada tiga hal yang membuat simulasi CFD sangat bermanfaat pada proses rancangbangun yaitu 1) *Insight* atau pemahaman mendalam ketika melakukan desain, 2) *Foresight* atau prediksi menyeluruh membuat CFD, 3) Efisiensi mengenai waktu dan biaya didapatkan untuk mempersingkat waktu penelitian dan penghematan biaya.

2.5.2 Proses Simulasi CFD

Menurut Tuakia (2008) menjelaskan ada tiga tahapan dalam proses simulasi menggunakan CFD yaitu:

1. *Preprocessing*

Preprocessing merupakan tahap awal dalam menganalisis sebuah model CFD, hal ini dilakukan dengan membuat model awal bagian geometri dalam aplikasi *Computer Aided Design* (CAD), kemudian menerapkan kondisi batas fluidanya. Tahapan prosesnya terdiri dari pembuatan geometri mesin yang akan dibuat, proses input *boundary condition* (kondisi batas), *input goals*, dan *meshing Process*. Model geometri yang dibuat harus bisa merepresentasikan ukuran dan sifat fisik dari mesin yang akan disimulasikan (Damayanti, 2012).

2. *Solving*

Solving adalah proses inti dimana aplikasi CFD menghitung kondisi-kondisi yang diterapkan pada saat *preprocessing*. Proses ini dilakukan dalam waktu tertentu tergantung pada jumlah *meshing* dalam suatu rancangan. Proses setelah dilakukan *meshing* adalah proses iterasi, dimana dilakukan beberapa kali pengulangan perhitungan sampai menemukan data yang sudah akurat.

3. *Post Processing*

Pada tahap ini merupakan tahap terakhir yaitu tahapan untuk mengorganisasi dan menginterpretasi data hasil simulasi CFD yang biasa berupa kurva, gambar, dan animasi. Data yang keluar dari proses ini adalah data yang telah di input di *goals* awal sehingga hasil dari proses ini merupakan hasil yang sesuai dengan yang diinginkan.

2.6.3 CFD pada Mesin Pengering

Nababan (2018) melakukan analisis CFD pada mesin pengering pakaian yang menggunakan Solidworks dan mendapatkan hasil simulasi berupa kontur suhu, kecepatan aliran fluida, serta panas spesifik dari saluran masuk kondensor menuju saluran keluar mesin pengering. Wulandari (2019) melakukan kajian distribusi panas terhadap mesin *rotary dryer* melalui analisis CFD menunjukkan pola aliran udara dan kecepatan udara pada ruang pengering cukup konstan dengan suhu rata-rata pada silinder bagian atas adalah 50,94 °C, sedangkan silinder bagian bawah 43,33 °C.

Castaño-Rodríguez *et al.*, (2018) melakukan perbandingan terhadap posisi *tray* pengering dan didapatkan hasil bahwa arah aliran udara merupakan faktor yang relevan dalam desain sistem pengeringan udara panas karena hubungannya dengan turbulensi aliran udara, dan dihasilkan bahwa pada rancangan mesin pengering terbaik adalah dengan *outlet* dikedua sisinya hal tersebut dikarenakan *velocity* dan suhunya seragam. Ferrua dan Singh (2009) telah melakukan uji fungsional untuk melihat suhu dan aliran udara dalam pengering dan mampu menjadi acuan dalam proses pembuatan mesin pengering.

2.6 Persamaan Umum Aliran Fluida

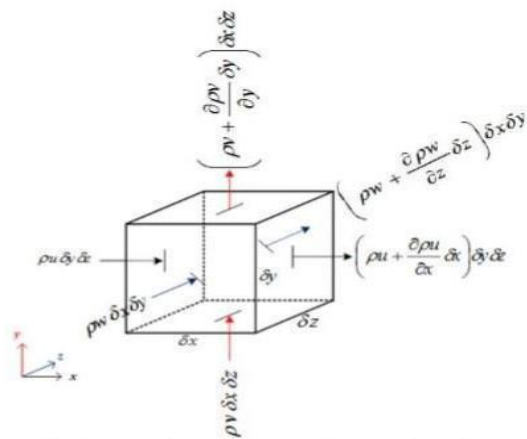
Ambarita (2011) menjelaskan mengenai aliran fluida dan temperatur dengan persamaan yang dikenal dengan istilah *governing equations* yaitu:

2.6.1 Hukum Kekekalan Massa

Persamaan kekekalan massa bisa disebut juga dengan hukum kontinuitas biasa juga disebut penjabaran hukum kekekalan massa. Konsep dari hukum ini adalah rata-rata kenaikan massa pada kontrol volume sama dengan massa yang mengalir masuk dan massa yang mengalir keluar. Secara umum dapat ditulis:

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \sum in - \sum out \dots \dots \dots (2.7)$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + v \frac{\partial \rho}{\partial y} + w \frac{\partial \rho}{\partial z} + \rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \dots \dots \dots (2.8)$$



Gambar 2 4 Hukum kekekalan massa pada sebuah elemen fluida 3 dimensi

2.6.2 Hukum Kekekalan Momentum

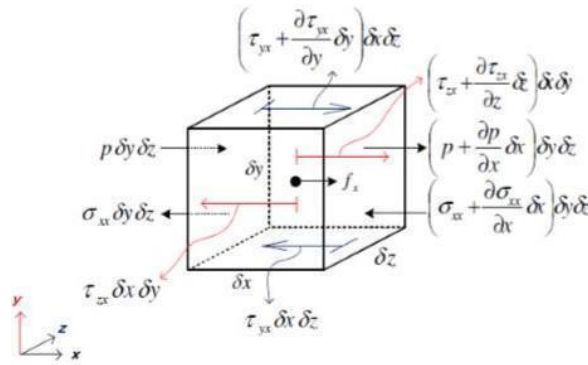
Hukum kekekalan momentum biasa disebut dengan hukum Newton II, dan biasa dirumuskan oleh persamaan 2.9 dan untuk bidang 3 dimensi berbeda setiap arah sumbunya seperti persamaan 2.10, 2.11, dan 2.12 berikut ini :

$$\sum F_x = m \cdot a_x \dots \dots \dots (2.9)$$

$$\rho \frac{Du}{Dt} = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \dots \dots \dots (2.11)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z \dots \dots \dots (2.12)$$



Gambar 2.5 Hukum kekekalan momentum arah sumbu-x fluida 3 dimensi

2.6.3 Hukum Kekekalan Energi

Hukum kekekalan energi merupakan aplikasi hukum termodinamika yaitu laju perubahan energi dalam suatu elemen sama dengan jumlah dari fluks panas yang masuk kedalam elemen dan digunakan dalam energi tersebut, dengan bentuk persamaan yaitu :

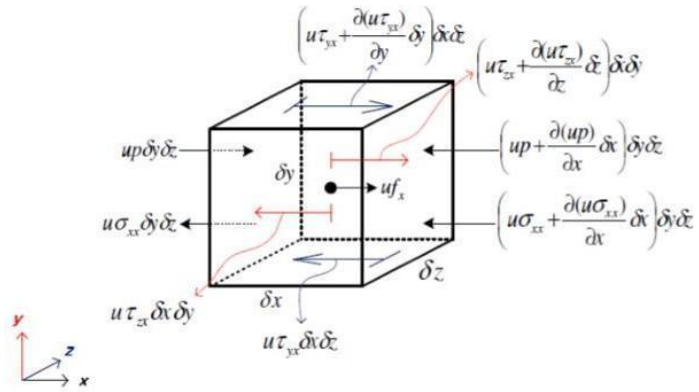
$$E = Q + W \dots \dots \dots (2.13)$$

Secara umum persamaan untuk fluks yang bergerak ke arah sumbu x, sumbu y, dan sumbu z (Gambar 2.6) dapat ditulis dengan persamaan berikut:

$$W_x = \left[-\frac{\partial (u\rho)}{\partial x} + \frac{\partial (u\sigma_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial (u\tau_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial (u\tau_{zx})}{\partial z} + u\rho f_x \right] \delta V \dots \dots \dots (2.14)$$

$$W_y = \left[-\frac{\partial (v\rho)}{\partial y} + \frac{\partial (v\sigma_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial (v\tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial (v\tau_{zy})}{\partial z} + v\rho f_y \right] \delta V \dots \dots \dots (2.15)$$

$$W_z = \left[-\frac{\partial (w\rho)}{\partial z} + \frac{\partial (w\tau_{xz})}{\partial x} + \frac{\partial (w\tau_{yz})}{\partial y} + \frac{\partial (w\sigma_{zz})}{\partial z} + w\rho f_z \right] \delta V \dots \dots \dots (2.16)$$



Gambar 2. 6 Hukum Kekekalan energi arah sumbu-x

III. METODOLOGI TUGAS AKHIR

3.1 Waktu dan Tempat

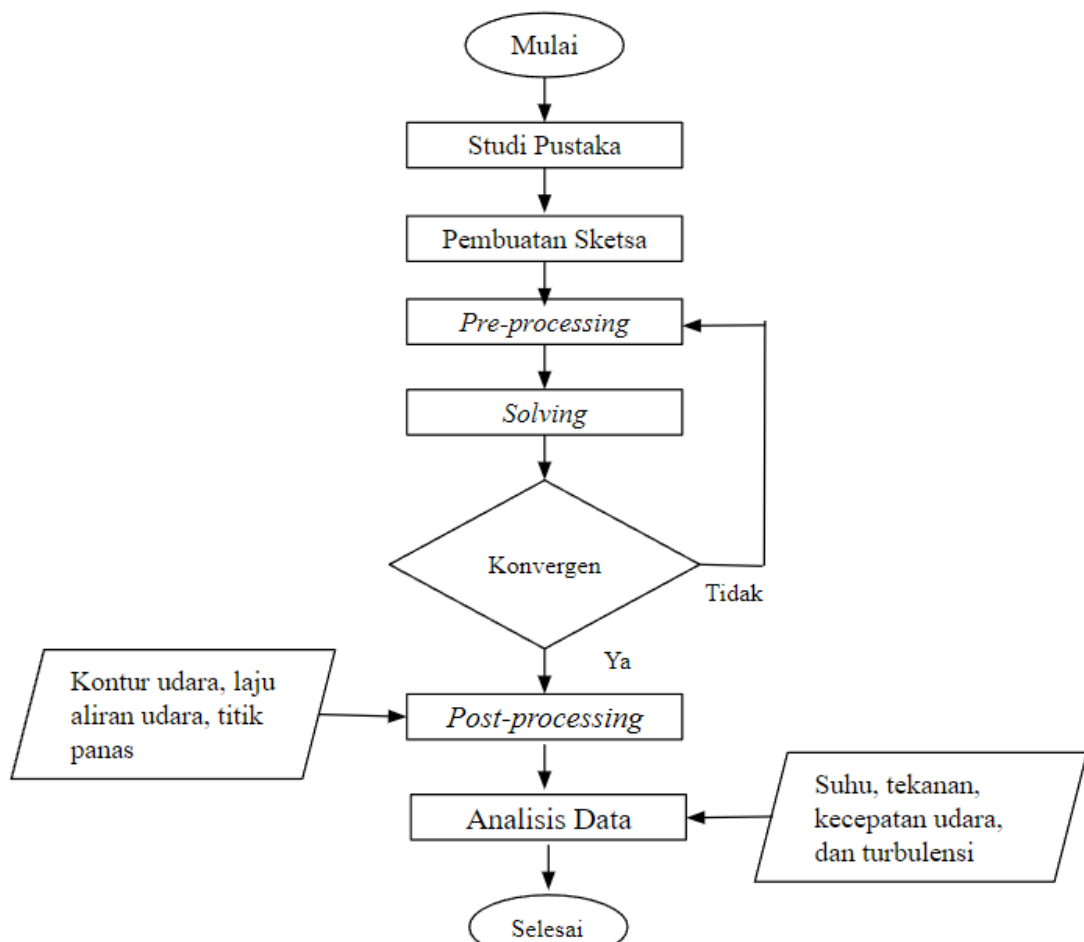
Kegiatan penelitian dilakukan dimulai dari bulan Mei 2022 sampai dengan bulan Juli 2022 dan dilaksanakan di Laboratorium Desain Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia.

3.2 Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari: 1) PC desain, 2) *Software Flow Simulation SolidWorks 2021*

3.3 Prosedur Pelaksanaan

Prosedur pelaksanaan penelitian dijelaskan di dalam *flowchart* sebagai berikut:



Gambar 3.1 *Flowchart* penelitian

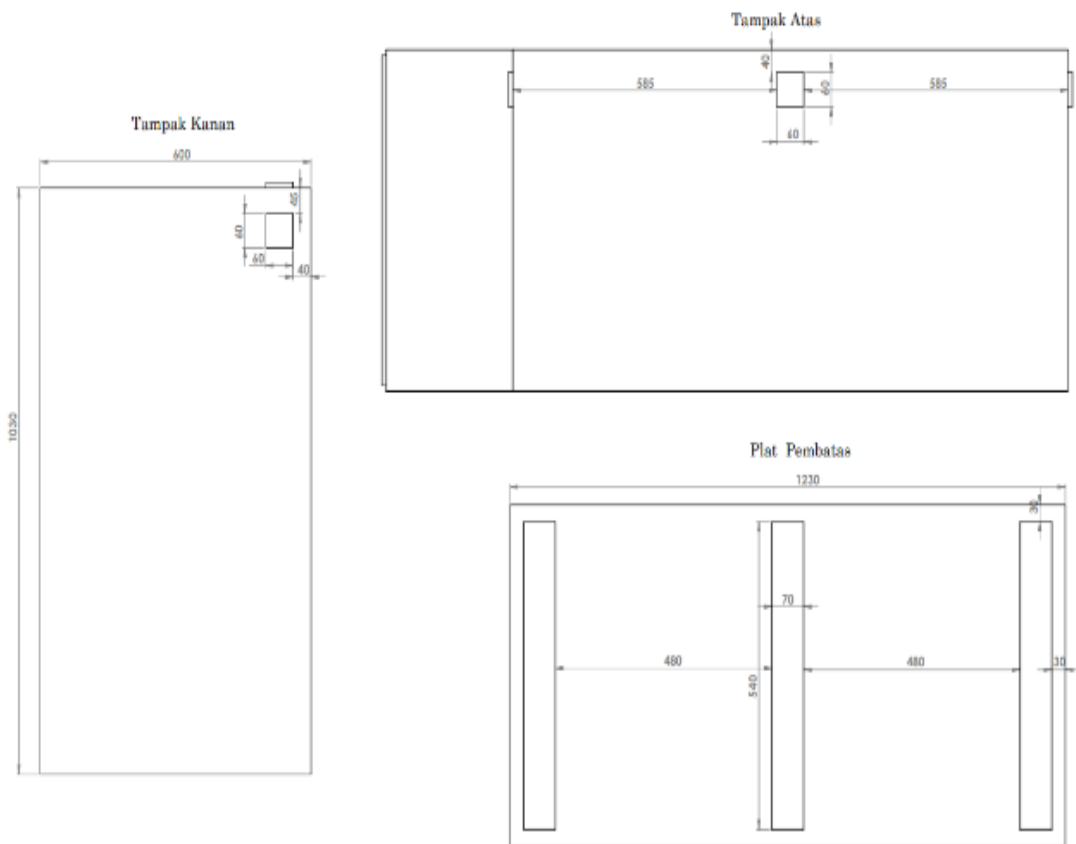
3.4 Perancangan Tugas Akhir

Proses yang dirancang terbagi menjadi 3 *Outlet* dan 3 posisi lubang. *Outlet* di beri simbol A dan lubang dengan simbol L terdiri dari :

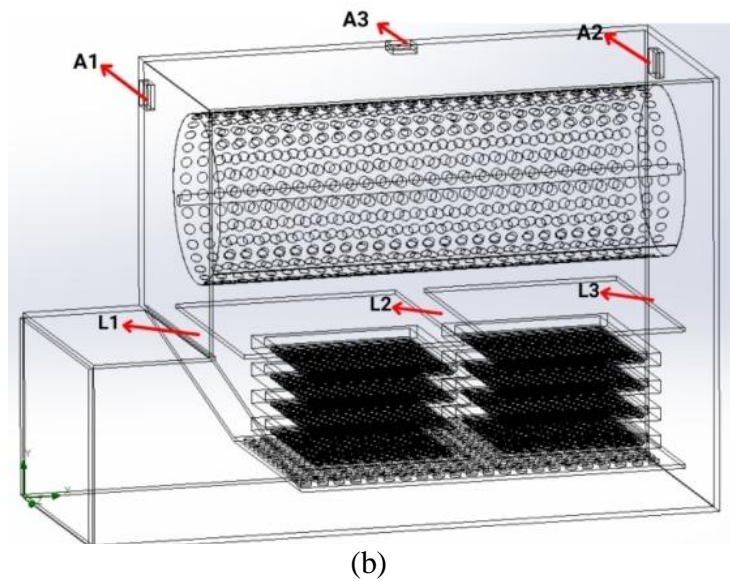
Tabel 3.1 Skema perancangan tugas akhir

Notasi	Keterangan
A1	<i>outlet</i> disebelah kanan
A2	<i>outlet</i> disebelah kiri
A3	<i>outlet</i> disebelah atas
L1	Lubang 1
L2	Lubang 2
L3	Lubang 3

Posisi *outlet* dan jumlah lubang akan berpengaruh terhadap jumlah sebaran udara panas di dalam mesin pengering. Ukuran *Outlet* dibuat dengan ukuran 60 mm x 60 mm dan posisi lubang dengan ukuran 540 mm x 70 mm (Gambar 3.2).



(a)



Gambar 3.2 (a) layout *outlet* dan lubang (b) isometrik mesin pengering

Rancangan penelitian Perancangan ini menghasilkan 21 Perlakuan masing-masing yang akan diteliti untuk memperoleh perlakuan dengan rata-rata sebaran suhu tertinggi yang diberikan (Tabel 3.2).

3.5 Metode Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode simulasi. Pembuatan simulasi meliputi serangkaian tahap yang diawali dengan pengumpulan data teknik dan diakhiri dengan penyajian hasil simulasi berupa kontur serta tampilan aliran udara di dalam pengering dua tipe ini. Data yang dicari meliputi nilai parameter dari fluida udara kering, material penyusun ruang pengering.

Pada penelitian ini digunakan *software flow simulation SolidWorks 2021* untuk membuat geometri, desain, dan juga mensimulasikan analisis fluida untuk mengetahui proses perpindahan panas, serta arah pergerakan fluida. Simulasi dengan menggunakan CFD dilakukan secara bertahap mulai dari melakukan desain model geometri, melakukan *checking fluid*, melakukan *wizard*, memasukkan data, menentukan kondisi batas (*boundary condition*), memasukkan tujuan simulasi (*goals*) kemudian melakukan proses *run* dan akhirnya menunggu hasil simulasi.

Tabel 3.2 Perlakuan yang digunakan

Perlakuan	Keterangan
A1L1	<i>Outlet 1 dengan Lubang 1 yang terbuka</i>
A1L2	<i>Outlet 1 dengan Lubang 2 yang terbuka</i>
A1L3	<i>Outlet 1 dengan Lubang 3 yang terbuka</i>
A1L1L2	<i>Outlet 1 dengan Lubang 1 dan 2 yang terbuka</i>
A1L1L3	<i>Outlet 1 dengan Lubang 1 dan 3 yang terbuka</i>
A1L2L3	<i>Outlet 1 dengan Lubang 2 dan 3 yang terbuka</i>
A1L1L2L3	<i>Outlet 1 dengan Lubang 1, 2 dan 3 yang terbuka</i>
A2L1	<i>Outlet 2 dengan Lubang 1 yang terbuka</i>
A2L2	<i>Outlet 2 dengan Lubang 2 yang terbuka</i>
A2L3	<i>Outlet 2 dengan Lubang 3 yang terbuka</i>
A2L1L2	<i>Outlet 2 dengan Lubang 1 dan 2 yang terbuka</i>
A2L1L3	<i>Outlet 2 dengan Lubang 1 dan 3 yang terbuka</i>
A2L2L3	<i>Outlet 2 dengan Lubang 2 dan 3 yang terbuka</i>
A2L1L2L3	<i>Outlet 2 dengan Lubang 1, 2 dan 3 yang terbuka</i>
A3L1	<i>Outlet 3 dengan Lubang 1 yang terbuka</i>
A3L2	<i>Outlet 3 dengan Lubang 2 yang terbuka</i>
A3L3	<i>Outlet 3 dengan Lubang 3 yang terbuka</i>
A3L1L2	<i>Outlet 3 dengan Lubang 1 dan 2 yang terbuka</i>
A3L1L3	<i>Outlet 3 dengan Lubang 1 dan 3 yang terbuka</i>
A3L2L3	<i>Outlet 3 dengan Lubang 2 dan 3 yang terbuka</i>
A3L1L2L3	<i>Outlet 3 dengan Lubang 1, 2 dan 3 yang terbuka</i>

Data input awal suhu yang dimasukkan adalah sebesar 60 °C dengan *inlet velocity* 1 m/s, dan *environmental temperature* dibuat suhu sama rata sebesar 27 °C dan tekanan 1,01 bar. Penggunaan suhu input 60 °C disesuaikan dengan komoditas yang akan dikeringkan yaitu produk simplisia yang mengandung volatile tinggi, sehingga penggunaan suhu dibawah 60 °C adalah suhu optimum yang bias digunakan (Jayashere *et al.*, 2014). *Boundary condition* yang dibuat terdiri dari 4 bagian yaitu *inlet velocity* pada bagian *inlet* udara panas, *environmental pressure* pada bagian *outlet*, *real wall 1* pada bagian silinder, dan *real wall 2* pada bagian rak.

3.6 Metode Analisis Data

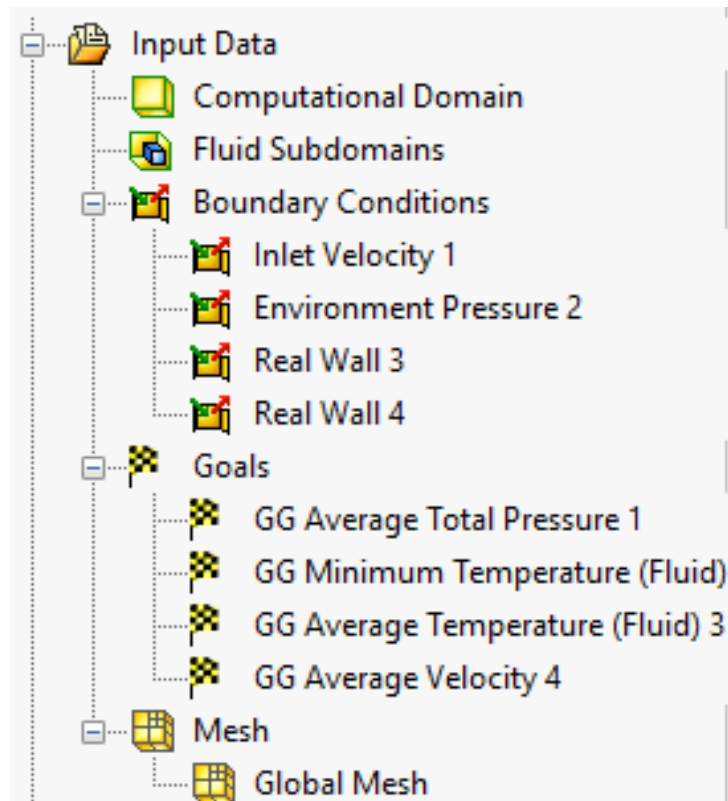
Pada proses analisis data ini diperoleh suhu, *velocity*, tekanan, dan turbulensi di dalam mesin pengering dengan proses simulasi. Hasil simulasi akan otomatis dan dapat kita export ke dalam Microsoft Excel. Data proses pengeringan akan ditampilkan dalam bentuk gambar dan grafik berdasarkan jumlah iterasi yang disimulasikan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 *Pre-Processing*

Proses *pre-processing* pada penelitian ini dimulai dari pembuatan model geometri dengan ukuran 1950 mm x 600 mm x 1030 mm, model yang dibuat disesuaikan dengan ukuran mesin yang akan dibuat sebanyak 21 geometri menyesuaikan dengan perlakuan yang dibuat. Proses selanjutnya adalah memasukan data untuk simulasi di bagian *boundary condition* berupa suhu, tekanan, dan kecepatan udara. Input panas diberikan di *inlet velocity* dengan suhu awal 60 °C, dengan tekanan 1,01 bar, dan kecepatan udara 1 m/s. Hal yang paling penting dalam perancangan mesin pengering adalah kondisi input awal yaitu berupa suhu, tekanan dan kecepatan fluida yang menjadi kunci dalam sebuah proses simulasi (Kaushal dan Sharma, 2012). *Environmental pressure* pada *outlet* diberikan suhu menyesuaikan dengan suhu lingkungan yaitu sebesar 27 °C karena suhu yang tinggi cenderung akan bergerak menuju suhu paling rendah dan tekanan yang sama seperti pada *inlet velocity*. *Real wall 1* memiliki kecepatan putaran sebesar 15 rpm dan putaran dari silinder ini akan mempengaruhi kecepatan aliran udara panas. *Real wall 2* tidak diberikan kondisi seperti *real wall 1* karena pada bagian tersebut tidak bergerak.

Tahapan setelah memasukan *boundary condition* adalah memasukan *goals* (tujuan) yang diinginkan seperti suhu, kecepatan, dan turbulensi. Nababan (2018) memasukan tujuan dari simulasi berupa suhu, kecepatan dan laju pengeringan, dan Jubaer (2018) melakukan hal yang sama dengan penambahan tingkat turbulensi udara pengering. Tahapan selanjutnya adalah proses *meshing* dilakukan dengan memasukan *meshing global* yaitu proses perhitungan keseluruhan bagian. Meshing merupakan proses pembagian area mesin menjadi bagian yang kecil untuk menghasilkan hasil dengan tingkat akurasi tinggi. Semakin tinggi *meshing* akan sangat berpengaruh terhadap waktu simulasi dan memori komputer (Damayanti, 2012).

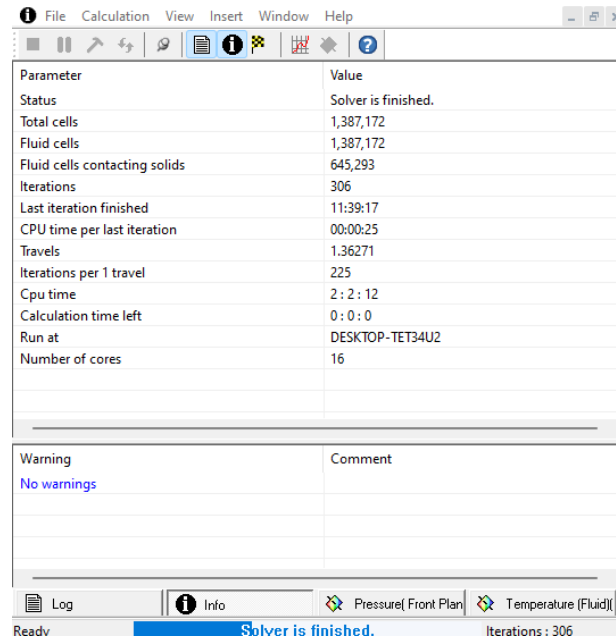


Gambar 4.1 Tahapan proses input data simulasi

4.2 Solver/Processing

Tahapan *solver* atau *processing* adalah tahap analisis data yang di input di proses dengan persamaan yang digunakan sampai ditemukan nilai konvergen atau nilai dengan tingkat error terkecil yang dinamakan dengan proses iterasi. *Boundary condition* yang di input diterjemahkan oleh *software* sehingga nilai hasil perhitungan muncul (Nawawi, 2015). Iterasi terhadap 21 perlakuan yang dibuat memiliki rata-rata nilai iterasi sebesar 298 iterasi, dengan waktu yang dibutuhkan selama ± 3 jam dengan iterasi per travel selama 36 detik. Nababan (2018) melakukan analisis CFD pada mesin pengering dengan jumlah iterasi 257 dengan analisis interval waktu simulasi 60 detik per iterasi.

Tahap ini juga memberikan *warning* yaitu untuk menunjukkan adanya kesalahan pada desain yang dibuat, sehingga berfungsi untuk memperbaiki rancangan mesinnya. Fitur peringatan ini akan berpengaruh terhadap hasil iterasi pada perancangan yang dibuat.



Gambar 4.2 Proses *solving* mesin pengering

4.3 *Post-processing*

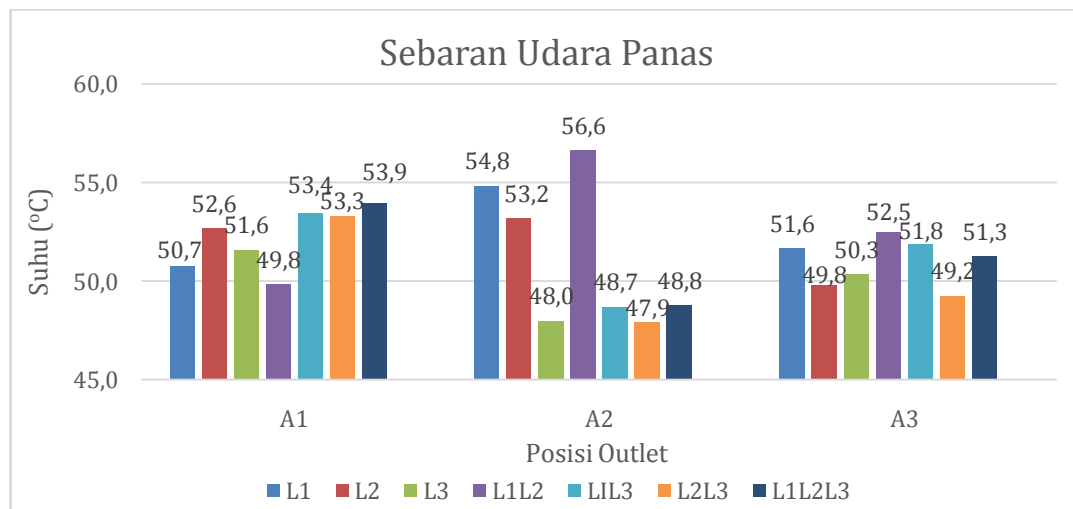
Tahapan terakhir dalam proses simulasi adalah menginterpretasikan hasil analisis kedalam gambar dan grafik tertentu. Hasil perhitungan yang didapat berupa data numerik dari variabel sifat fluida seperti suhu, kecepatan, dan turbulensi (Lampiran 2). Data hasil simulasi yang telah dilakukan pada mesin menghasilkan gambar kontur udara panas seluruh permukaan mesin, laju aliran udara (*velocity*), kontur udara pada bagian rak, kontur udara panas pada bagian silinder, dan tingkat turbulensi udara ketika udara mengalir. Menurut Nawawi (2015) CFD memberikan hasil simulasi dalam bentuk fisik yang realistik dengan tingkat akurasi baik.

4.4 Hasil Simulasi Posisi *Outlet* dan Jumlah Lubang

Posisi *outlet* dan jumlah lubang akan mempengaruhi nilai sebaran suhu, kecepatan udara, dan tingkat turbulensi yang terjadi pada proses pengeringan. Suhu dan kecepatan *inlet* dan *outlet* akan berpengaruh terhadap bahan yang dikeringkan dari segi fisik maupun kimia (Samborska *et al.*, 2005). Rata-rata tekanan bernilai sama dikarenakan bentuk geometri yang hampir sama yaitu bernilai 1,06 bar.

4.4.1 Suhu

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin jauh posisi lubang terhadap *outlet* maka semakin besar nilai rata-rata sebaran suhu yang terdapat di dalam ruang pengering karena udara panas akan berputar-putar terlebih dahulu di dalam mesin. Sebaran nilai suhu tertinggi adalah pada sampel A2L1L2 yaitu pembuangan A2 dengan dua lubang yang dibuka yaitu lubang 1 dan lubang 2 yang bernilai 56,69 °C. Letak posisi *outlet* dengan penempatan lubang juga mempengaruhi tingkat kerataan pada pengeringan sistem rak, karena udara panas akan melewati rak terlebih dahulu lalu masuk ke silinder lalu keluar di *outlet*. Perlakuan yang memiliki nilai terendah adalah perlakuan A2L2L3 yaitu menghasilkan rerata suhu sebesar 47,92 °C, terjadi penurunan suhu yang jauh berbeda diakibatkan karena adanya suhu dingin yang terjebak di dalam mesin pengering (Gambar 4.4).

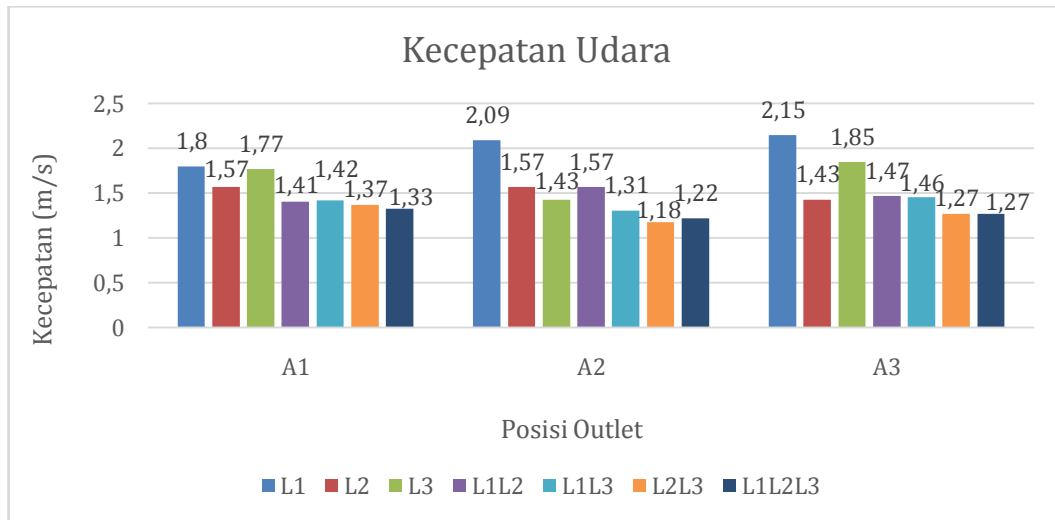


Gambar 4.3 Perbandingan sebaran suhu dengan posisi *outlet*

4.4.2 Kecepatan Udara

Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin sedikit jumlah lubang yang diberikan, kecepatan udara akan semakin cepat. Hal tersebut disebabkan karena udara tidak terbagi-bagi dan melewati banyak celah. Kecepatan udara yang tinggi akan mempengaruhi proses pengeringan karena udara panas akan cepat keluar menuju *outlet*. Peningkatan kecepatan pada proses pengeringan akan menyebabkan penurunan suhu yang terjadi semakin cepat menuju *outlet* karena diakibatkan oleh peningkatan laju penguapan air (Samborska *et al.*, 2005). Posisi

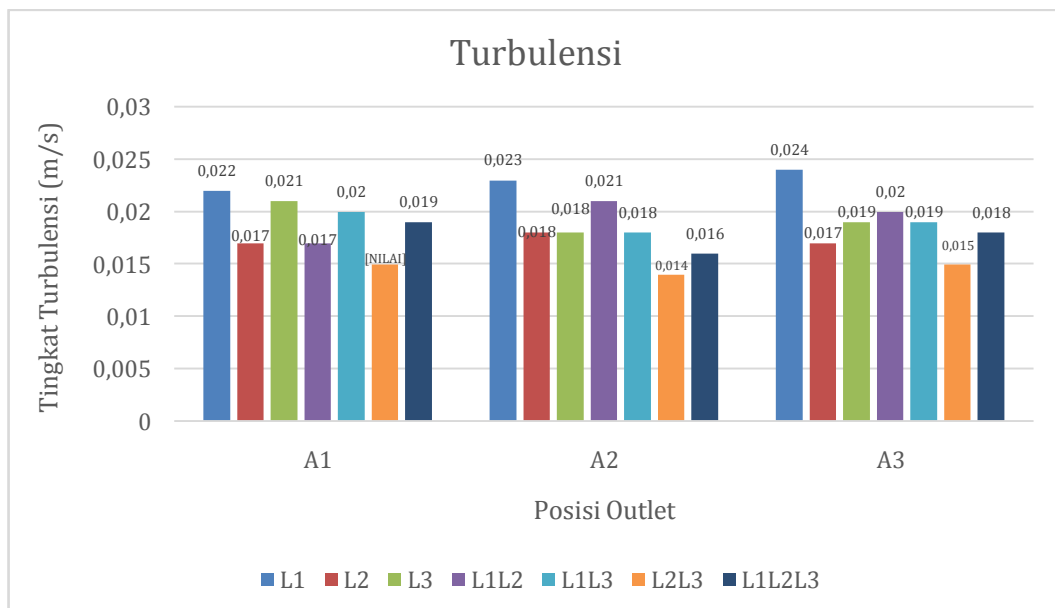
lubang yang terbuka dan jaraknya dengan *outlet* menjadi faktor yang berpengaruh karena menyebabkan nilai kecepatan akan cepat menurun.



Gambar 4.4 Perbandingan kecepatan udara dengan posisi *outlet*

4.4.3 Turbulensi

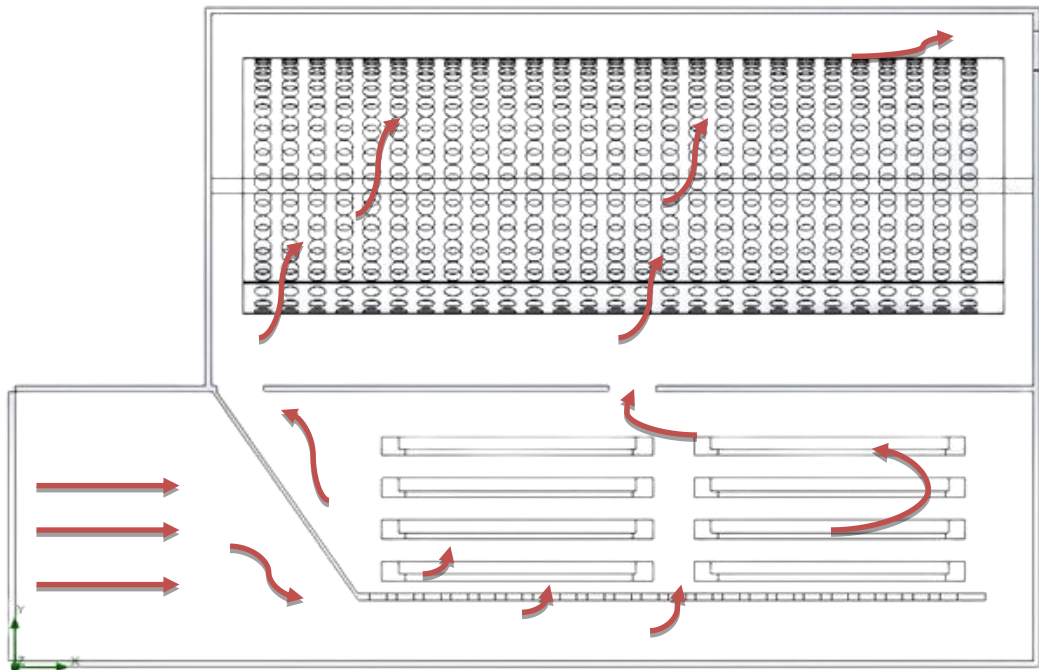
Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat turbulensi berbanding lurus dengan kecepatan udara. Semakin tinggi nilai kecepatan udara semakin cepat turbulensi yang terjadi. Turbulensi ini terjadi karena kecepatan udara mengalami gesekan dengan bagian dalam mesin pengering dengan cepat lalu menuju *outlet*. Kestabilan tingkat turbulensi akan berpengaruh terhadap perpindahan massa dan pindah panas pada bahan yang dikeringkan (Jubaer *et al.*, 2018).



Gambar 4.5 Perbandingan turbulensi dengan posisi *outlet*

4.5 Proses Distribusi Aliran Udara Panas

Skema aliran Udara panas dihembuskan oleh kipas ke seluruh ruang pengering melewati celah bagian bawah mesin, dilanjutkan ke bagian rak pengering melewati celah dan lubang plat *perforated*, dilanjutkan lagi dengan sebaran ke bagian atas mesin yang terdapat silinder pengering berputar. Silinder berputar dibuat supaya udara panas merata menyentuh produk yang dikeringkan. Kemudian udara dingin akan keluar melalui corong udara sebelah kanan atas mesin.

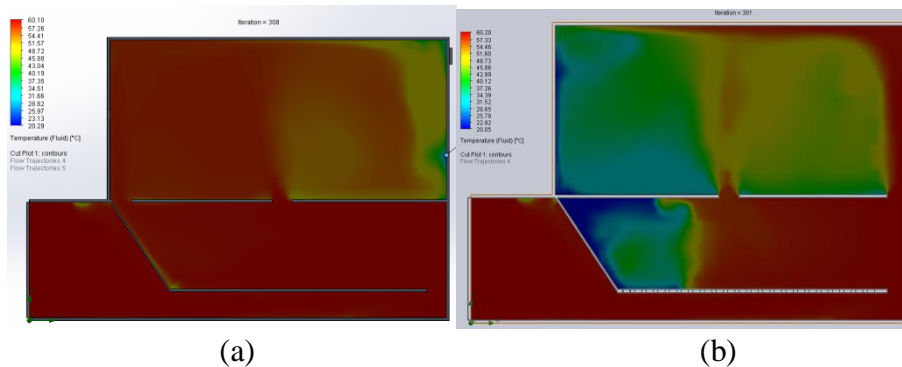


Gambar 4.6 Proses distribusi aliran udara panas

4.5.1 Distribusi Aliran Udara Panas Keseluruhan Bagian

Keseluruhan bagian mesin pada 21 perlakuan, yang diambil adalah perlakuan yang memiliki nilai sebaran suhu tertinggi yaitu perlakuan A2L1L2 (Gambar 4.8a). Perlakuan yang memiliki nilai sebaran suhu terendah adalah perlakuan A2L2L3 yang disebabkan adanya udara dingin yang terjebak di dalam pengering cukup banyak (Gambar 4.8b). Pada proses distribusi panas, ada dua faktor yang sangat berpengaruh yaitu faktor eksternal yaitu kondisi udara yang ambient, suhu udara luar dan faktor internal meliputi bahan yang dikeringkan, *specific heat*, dan *thermal conductivity* (Malekjani dan Jafari, 2018). Faktor-faktor tersebut pada proses simulasi telah ditentukan menyesuaikan dengan kondisi

lingkungan tempat mesin akan dirancang. Pada perancangan mesin pengering posisi tempat bahan dikeringkan sangat berpengaruh dalam proses distribusi aliran panas, serta tingkat turbulensi fluida akan tinggi karena bertabrakan dengan media pengeringan. Hasil simulasi akan terdapat beberapa warna yang menggambarkan hasil dari analisis yang terjadi. Kontur yang dihasilkan memiliki beberapa warna, warna tersebut menunjukkan bahwa terdapat udara dengan nilai suhu yang berbeda yaitu udara yang terpanaskan secara konveksi oleh dinding *heat exchanger* dan udara panas yang berasal dari lubang *inlet* (Nusyirwan, 2014). Keseragaman warna merah yang paling banyak adalah hasil terbaik yang dihasilkan, karena warna merah menggambarkan suhu maksimal.

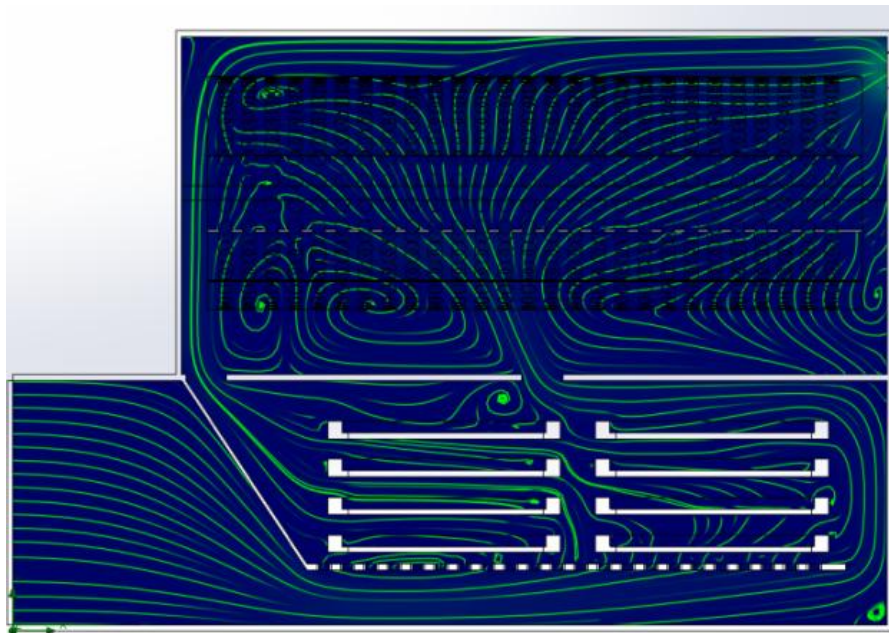


Gambar 4.7(a) Kontur udara panas A2L1L2 dan (b) A2L2L3

Hasil analisis sebaran suhu pada perlakuan A2L1L2 menghasilkan nilai standar deviasi pada 36 titik yang dilakukan sebesar 3,55 (Lampiran 3). Nilai tersebut besar karena terdapat perbedaan dari setiap titik yang dilakukan analisis. Rentang perbedaan setiap perlakuan sebesar 1-11,5 °C dari suhu terkecil sampai suhu terbesar. Khatir *et al.*, (2020) melakukan penelitian terhadap alat pengering dan dihasilkan hasil standar deviasi dari pengeringan di dalam pengering adalah sebesar 4,42 °C dan standar deviasi suhu lingkungannya adalah 1,32 °C.

Berdasarkan penelitian Babu *et al.*, (2019) dalam simulasi pada perancangan mesin pengering, hasil yang paling baik adalah rancangan yang menghasilkan penurunan tekanan yang rendah, laju pengeringan tinggi, dan keseragaman udara panas di dalam mesin pengering. Tekanan pada rancangan mesin pengering menghasilkan data yang sama karena bentuk *inlet* dan *outletnya* diberi nilai yang sama.

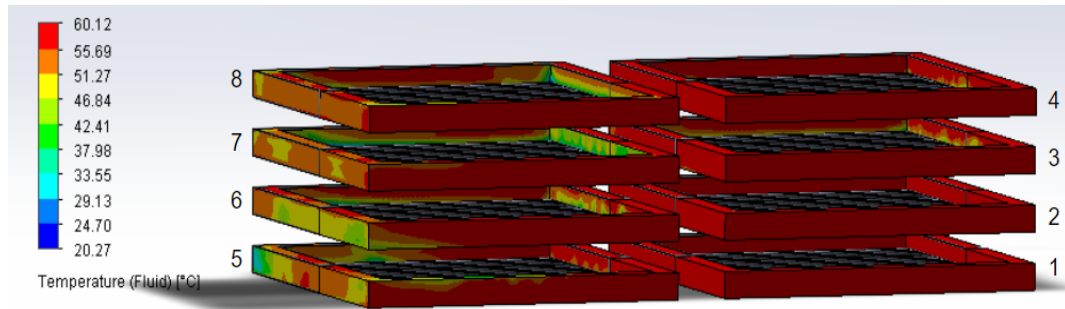
Kecepatan rata-rata yang dihasilkan dalam perlakuan A2L1L2 adalah 1,57 m/s, rata-rata yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan perlakuan satu lubang dan lebih besar dibanding dengan tiga lubang. Hasil tersebut dikarenakan semakin sedikit jumlah lubang maka semakin cepat laju aliran udara dan lebih banyak lubang maka semakin rendah laju aliran udaranya. Pimsamarn *et al.*, (2011) melakukan simulasi ruang pengering dan menghasilkan kecepatan rata-rata 1,51 m/s hal ini disebabkan oleh banyak nya ruang kosong sehingga tidak banyak terjadi turbulensi. Tingkat turbulensi yang terjadi adalah sebesar 0,021 m/s, semakin banyak lubang maka semakin banyak jumlah turbulensi yang terjadi karena udara panas akan bersinggungan dengan ujung lubang. Menurut Pimsamarn *et al.*, (2011) bahwa terjadi perbedaan penurunan kadar air pada sampel yang berbeda dikarenakan perbedaan turbulensi yang langsung berpengaruh terhadap kelembaban bahan yang dikeringkan.



Gambar 4.8 Velocity udara A2L1L2

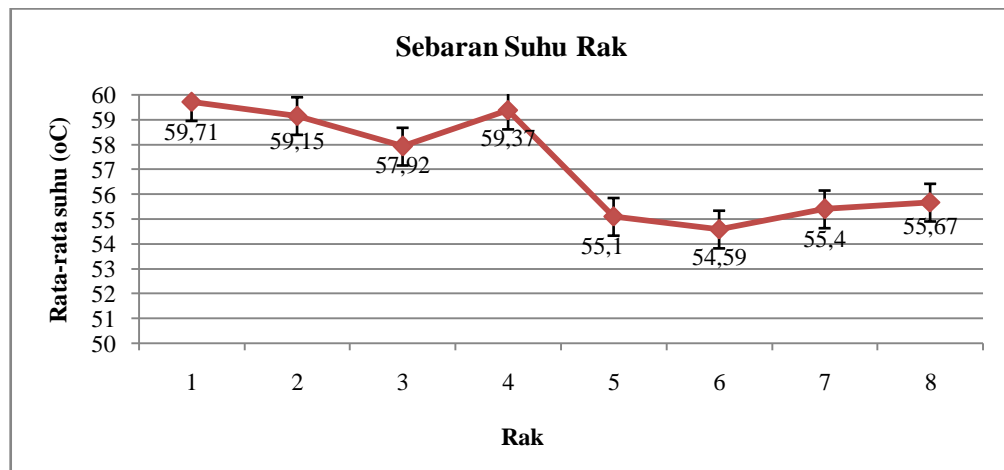
4.5.2 Distribusi Aliran Udara Panas Bagian Rak

Hasil simulasi perlakuan A2L1L2 pada bagian rak menghasilkan hasil yang seragam di mana suhu rata-rata bagian rak adalah sebesar 57,52 °C. Hal tersebut dikarenakan pada bagian rak merupakan bagian yang teraliri pertama oleh udara panas (Gambar 4.10).



Gambar 4.9 Sebaran udara panas dalam rak A2L1L2

Tray dryer yang teraliri biasanya hanya bagian yang dekat dengan udara panas dan tidak meratanya udara panas keseluruhan bagian rak (Misha *et al.*, 2013) Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai suhu rata-rata tidak jauh berbeda dengan suhu input dan dengan suhu masing-masing rak (Gambar 4.10). Sebaran suhu pengering di dalam rak memiliki standar deviasi sebesar 2 °C, dengan selisih udara maksimum dan minimum sebesar 5,12 °C.



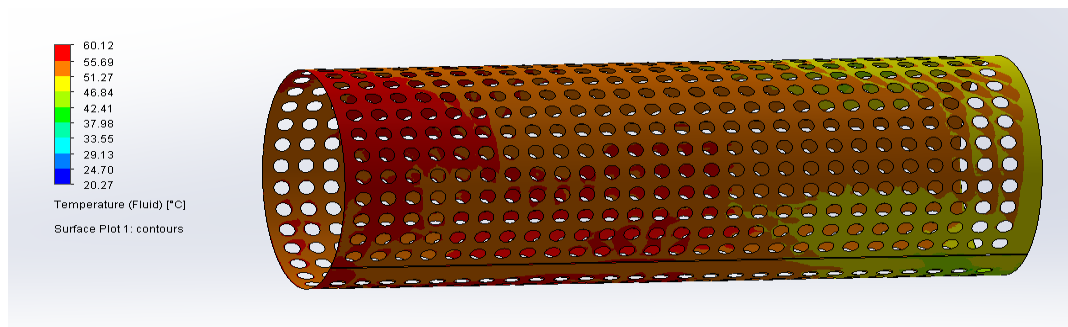
Gambar 4.10 Sebaran suhu dalam rak A2L1L2

Suhu tertinggi masih dimiliki oleh rak pertama yang terkena aliran udara, namun terjadi perbedaan di rak ke 3. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 4.10 bahwa penyebaran suhu berdasarkan warna menunjukkan warna kuning yang lebih banyak dibanding rak 1,2, dan 4 dan rak 3 berada pada rentang suhu 46-51 °C.

4.5.3 Distribusi Aliran Udara Panas Bagian Silinder

Hasil simulasi perlakuan A2L1L2 pada bagian silinder menghasilkan hasil yang kurang seragam (Gambar 4.8) di mana suhu rata-rata bagian silinder sebesar 53,52 °C. Hal ini dikarenakan bagian silinder merupakan bagian yang dialiri udara

panas setelah bagian rak, udara turun diakibatkan adanya perpindahan panas konveksi dan konduksi pada bagian *tray*. Suhu udara dibagian silinder kiri lebih rendah dibanding dengan bagian kiri, berdasarkan sebaran suhu sisi kiri sebesar 46-51 °C dan yang sebelah kanan rentang 51-60 °C. Pengeringan biji-bijian menggunakan mesin pengering silinder sangat dipengaruhi oleh putaran dan suhu, semakin tinggi putaran dan semakin tinggi suhu maka bahan akan cepat kering, namun putaran tertinggi adalah 20 rpm dengan suhu 65 °C (Fatukhi, 2021).



Gambar 4.11 Udara panas silinder A2L1L2

Putaran silinder sebesar 15 rpm membuat udara panas mengalir ke seluruh bagian bahan yang akan dikeringkan. Faisal (2018) melakukan pengujian pada pengering tipe silinder dan mendapatkan hasil bahwa proses pengeringan terjadi secara merata karena bahan berputar dan bertukar posisi. Besar lubang yang berada disilinder juga akan berpengaruh terhadap masuknya udara panas kedalam silinder, semakin kecil lubang semakin sulit udara untuk masuk dan tingkat turbulensi udaranya akan semakin tinggi.

Berdasarkan hasil simulasi didapatkan hasil bahwa udara panas masuk ke silinder dan berputar-putar disilinder sebelum keluar menuju lubang *outlet* (Gambar 4.13).



Gambar 4.12 Sebaran udara panas dalam silinder A2L1L2

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Distribusi udara panas dalam perancangan mesin pengering tipe ganda ini menghasilkan suhu rata-rata sebesar 56,59 °C, standar deviasi 3,55 °C, kecepatan 1,57 m/s, tekanan 1,06 bar dan turbulensi sebesar 0,021 m/s. Suhu rata-rata pada bagian rak adalah sebesar 57,52 °C lebih tinggi dibanding rata-rata suhu silinder sebesar 53,52 °C.
2. Perlakuan yang memberikan nilai sebaran udara panas yang paling optimal adalah perlakuan A2L1L2 yaitu dengan posisi *outlet* di A2 dan dengan 2 lubang yang dibuka yaitu lubang 1 dan lubang 2.

5.2 Saran

1. Disarankan melakukan simulasi terhadap ukuran dari lubang yang dilakukan dan membuat skema pengeluaran yang lebih dari satu.
2. Disarankan untuk menambahkan material pada analisis selanjutnya untuk mengetahui pengaruh material yang digunakan terhadap sebaran udara panas.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggoro, A. D. 2013. Analisis kinerja mesin pengering tipe rak (tray dryer) berbahan bakar gas untuk proses pengeringan chip pisang. Skripsi: Universitas Gadjah Mada.
- Aman, W. P., Jading, A., Roreng M.K. 2013. Prototipe alat pengering tipe rotari (rotary dryer) bersumber panas biomassa untuk industri pengolahan pati sagu di Papua. Prosiding Seminar Nasional Insentif Riset dan Sains. 734-744.
- Amanto, B. S., Siswanti., Atmaja, A. 2015. Kinetika pengeringan temu giring (*Curcuma heyneana* Valetton dan *van Zijp*) menggunakan cabinet dryer dengan perlakuan pendahuluan blanching. Jurnal Teknologi Hasil Pertanian. 8(2): 107-114
- Ambarita, H. 2011. *Perpindahan Panas Konveksi Dan Pengantar Alat Penukar Kalor*. Medan: Departemen Teknik Mesin FT Universitas Sumatera Utara.
- Ambarita, H. 2011. *Buku Kuliah Perpindahan Panas Konduksi (Penyelesaian Analitik Dan Numerik)*. Medan: Departemen Teknik Mesin FT Universitas Sumatera Utara.
- Babu, A. K., Kumaresan, G., Antony Aroul Raj, V., dan Velraj, R. 2020. CFD studies on different configurations of drying chamber for thin-layer drying of leaves. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 42(18): 2227-2239.
- Bockh, O. V., dan Wetzel, T. 2012. *Heat Transfer*. London: Springer
- Castaño-Rodríguez, J., Amaya, D., dan Ramos, O. 2018. Food dryer design and analysis of velocity and temperature profiles. *Internasional Journal of Applied Engineering Research*. 13(18): 13578-13583.
- Damayanti, Y. P. 2012. Simulasi temperature control system pada internal flow fluida viscous dengan menggunakan perangkat lunak CFD (Computational Fluid Dynamics) studi kasus temperature control system tipe II untuk lini produksi kecap PT. Lombok Gandaria. Skripsi: Universitas Sebelas Maret.
- Demissie, P., Hayelom, M., Kassaye, A., Hailesilassie, A., Gebrehiwot, M., dan Vanierschot, M. 2019. Design, development and CFD modeling of indirect solar food dryer. *Energy Procedia*. 158: 1128-1134.
- Dewi, Y. R. 2020. *Modul Penanganan Bahan Hasil Pertanian*. Lampung: Dinas Pendidikan dan Kebudayaan.
- Faisal, A. 2018. *Pengujian Rotary Dryer Variasi Mass Flow Rate Dan Waktu Pengeringan*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.

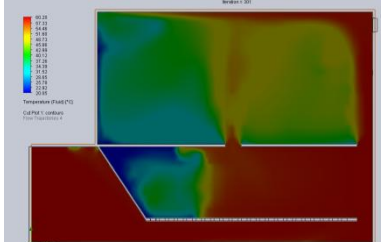
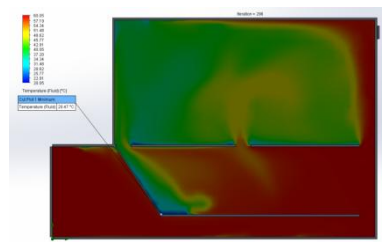
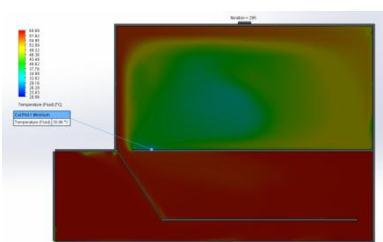
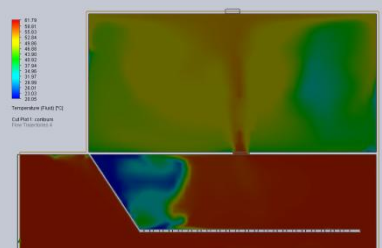
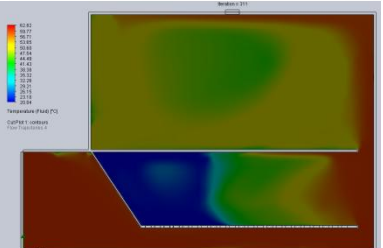
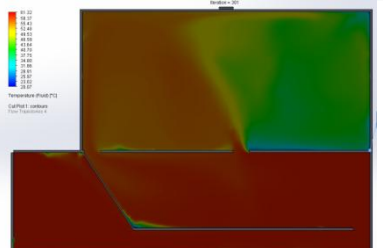
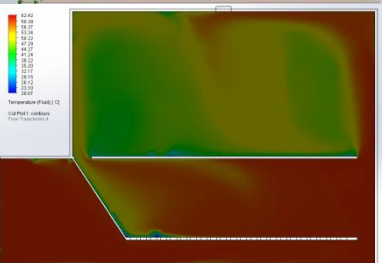
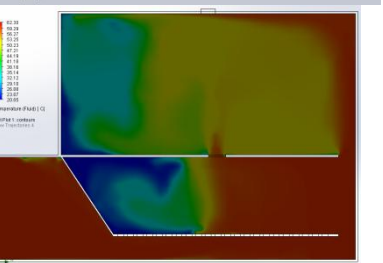
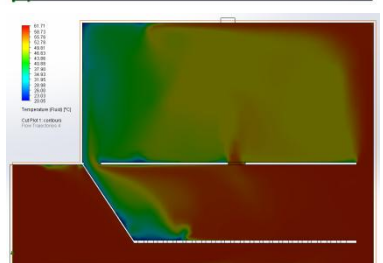
- Fatukhi, A. T. 2021. Analisis pengaruh variasi kecepatan putaran dan temperatur pada proses pengeringan biji jagung menggunakan mesin rotary dryer dengan pemanas gas LPG. Tugas Akhir: Politeknik Harapan Bersama.
- Ferrua, M. J., dan Singh, R. P. 2019 . Modeling the forced – air cooling process of fresh strawberry packages part 1. Numeric Model. Journal of Refrig. 32(2): 335–348.
- Hardianti, N., Damayanti, R. W., dan Fahma, F. 2017. Faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengeringan simplisia menggunakan solar dryer dengan konsep udara ekstra. Prosiding SNST FT. 6-11.
- Holman, J. 2000. *Perpindahan Kalor*. Jakarta: Erlangga.
- Jayashree, E., Visvanathan, R., dan Zachariah, J. 2014. Quality of dry ginger (*Zingiber officinale*) by different drying methods. Journal of food science and technology. 51(11), 3190-3198.
- Jubaer, H., Afshar, S., Xiao, J., Chen, X. D., Selomulya, C., dan Woo, M. W. 2019. On the effect of turbulence models on CFD simulations of a counter-current spray drying process. Chemical Engineering Research and Design. 141: 592-607.
- Kaushal, P., dan Sharma, H. K. 2012. Convective dehydration kinetics of noodles prepared from taro (*Colocasia esculenta*), rice (*Oryza sativa*) and pigeonpea (*Cajanus cajan*) flours. Agricultural Engineering International: CIGR Journal. 15(4): 202–212.
- Khathir, R., Sari, E. P., dan Agustina, R. 2020. Performansi alat pengering terowongan tenaga surya tipe hohenheim untuk pengeringan kerupuk tiram. Agritech. 40(4): 263-269.
- Lestari, N., Samsuar, S., Novitasari, E., dan Rahman, K. 2020. Kinerja cabinet dryer pada pengeringan jahe merah dengan memanfaatkan panas terbuang kondensor pendingin udara. Jurnal Agritechno. 13(1): 57-70.
- Majmundar, A. S. 2006. *Handbook Of Industrial Drying*. New Jersey: Taylor and Francis Group.
- Marwati, M., Yuliani, Y., Andriyani, Y., Mentari, M. 2017. Pengaruh suhu dan lama pengeringan terhadap sifat kimia dan organoleptik sale pisang kapas (*Musa comiculata*). Jurnal Kimia Mulawarman. 15(1): 24-28.
- Malekjani, N., dan Jafari, S. M. (2018). Simulation of food drying processes by Computational Fluid Dynamics (CFD); recent advances and approaches. Trends in Food Science dan Technology. 78: 206-223.
- Misha, S., M. Sohif, H.R. Mohd, S. Kamaruzzaman, Elias, S. 2013. The prediction of drying uniformity in tray dryer system using CFD

- simulation. *International Journal of Machine Learning and Computing*. 3(5): 419-423.
- Nababan, Chandra A. 2018. Analisis Computational Fluid Dynamics (CFD) pada mesin pengering pakaian yang memanfaatkan energi panas buangan kondensor ac (*air conditioner*) split 1 pk dengan menggunakan software solidworks 2015. Skripsi: Universitas Sumatera Utara.
- Napitupulu, F. H., dan Tua, P. M. 2012. *Perancangan Dan Pengujian Alat Pengering Kakao Dengan Tipe Cabinet Dryer Untuk Kapasitas 7,5 Kg Per-Siklus*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Nawawi, M. 2015. Analisa CFD (Computational Fluid Dynamics) terhadap pengaruh inclining keel pada hambatan dan kecepatan kapal ikan. Skripsi: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nayak, P. K., Mohan, C. C., dan Radhakrishnan, K. 2018. Effect of microwave pretreatment on the color degradation kinetics in mustard greens (*Brassica juncea*). *Chemical Engineering Communications*. 205(9): 1261–1273.
- Nilasari, O. W., Susanto, W. H., dan Maligan, J. M. 2017. Pengaruh suhu dan lama pemasakan terhadap karakteristik lempok labu kuning (waluh). *Jurnal Pangan dan Agroindustri*. 5(3): 15-26.
- Nusyirwan. 2014. Kajian pengering gabah dengan wadah pengering berbentuk silinder dan mekanisme pengaduk putar. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder*. 1(2): 45-52.
- Park, H. W., Han, W. Y., dan Yoon, W. B. 2018. Drying characteristics of soybean (*Glycine max*) using continuous drying and intermittent drying. *International Journal of Food Engineering*. 14(1): 9–10.
- Pimsamarn, J., Kitsubun, P., dan Tongruk, R. 2011. Numerical simulation of air flow and temperature distribution in yarn drying room. *ASEAN Journal of Chemical Engineering*. 11(2): 8-21.
- Pradana, A. J., dan Puja, I. G. K. 2009. Karakteristik pengering energi surya menggunakan absorber porus dengan ketebalan 12 cm. Seminar Nasional-VIII Rekayasa dan Aplikasi Teknik Mesin Di Industri Kampus ITENAS-Bandung. 14-20.
- Rohanah, A. 2006. *Teknik Pengeringan*. Medan: Departemen Teknologi Pertanian Universitas Sumatera Utara.
- Samborska, K., Witrowa-Rajchert, D., dan Gonçaves, A. 2005. Spray-drying of α -amylase The effect of process variables on the enzyme inactivation. *Drying Technology*. 23(4): 941-953.
- Singh, P. 2001. *Introduction to food engineering*. Academic Press.

- Suhendra, L. 2017. Efektifitas pengeringan Jahe Terhadap Aktivitas antioksidan. Laporan Penelitian: Universitas Udayana.
- Sulistiono, D. 2021. Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) cabinet dryer dengan sirip dan tanpa sirip. *Jurnal Teknik Kimia*. 27(1): 7-14.
- Sushanti, G., dan Sirwanti, S. 2018. Laju pengeringan chips mocaf menggunakan cabinet dryer. *Jurnal Galung Tropika*. 7(3): 229-237.
- Syam, H., Jamaluddin, Rais, M., dan Lestari, N. 2019. Potensi panas terbuang kondensor AC sebagai sumber pemanas pada *cabinet dryer*. *Prosiding Seminar Nasional LP2M UNM*. 759-764.
- Thaib, G, Said, dan Wiraatmadja, S. 1988. *Operasi pengeringan pada pengolahan hasil pertanian*. Jakarta: PT. Mediatama Sarana Perkasa.
- Treybal, R. E. 1980. *Mass-Transfer Operations*. New York: Mc Graw Hill.
- Tuakia. 2008. *Dasar-Dasar CFD Menggunakan Fluent*. Jakarta: Informatika.
- Tumbel, N. 2016. Rekayasa alat pengering jagung sistem rotary. *Jurnal Penelitian Teknologi Industri*. 8(2): 107-116.
- Versteeg, H.K dan Malalasekera, W. 2007. *An Introduction To Computational Fluid Dynamics The Finite Volume Method 2nd Edition*. England: Pearson Educational Limited
- Yerizam, M., Purnamasari, I., Dillah, V. F., dan Pakpahan, C. 2019. Kinerja rotary dryer pada pengeringan chips (*Manihot esculenta*) dalam pembuatan mocaf berdasarkan variasi waktu, temperatur dan laju pengeringan. 10(2): 24-28.
- Zikri, A., dan Rusnadi, I. 2015. Uji kinerja rotary dryer berdasarkan efisiensi termal pengeringan serbuk kayu untuk pembuatan biopelet. 21(2): 50-58.

Lampiran 1. Hasil simulasi 21 perlakuan

Perlakuan	Gambar	Perlakuan	Gambar	Perlakuan	Gambar
A1L1		A1L2		A1L3	
A1L1L2		A1L1L3		A1L2L3	
A1L1L2 L3		A2L1		A2L2	
A2L3		A2L1L2		A2L1L3	

Perlakuan	Gambar	Perlakuan	Gambar	Perlakuan	Gambar
A2L2L3		A2L1L2L3		A3L1	
A3L2		A3L3		A3L1L2	
A3L1L3		A3L2L3		A3L1L2L3	

Lampiran 2. Hasil perhitungan simulasi

Parameter Perlakuan	Suhu rata-rata (°C)	Velocity rata-rata (m/s)	Tekanan (Bar)	Turbulence(m/s)
A1L1	50,73	1,8	1,06	0,022
A1L2	52,63	1,57	1,06	0,017
A1L3	51,57	1,77	1,06	0,021
A1L1L2	49,82	1,41	1,06	0,017
A1L1L3	53,43	1,42	1,06	0,020
A1L2L3	53,3	1,37	1,06	0,015
A1L1L2L3	53,9	1,33	1,06	0,019
A2L1	54,83	2,09	1,06	0,023
A2L2	53,18	1,57	1,06	0,018
A2L3	47,98	1,43	1,06	0,018
A2L1L2	56,59	1,57	1,06	0,021
A2L1L3	48,7	1,31	1,06	0,018
A2L2L3	47,92	1,18	1,06	0,014
A2L1L2L3	48,78	1,22	1,06	0,016
A3L1	51,63	2,15	1,06	0,024
A3L2	49,79	1,43	1,06	0,017
A3L3	50,32	1,85	1,06	0,019
A3L1L2	52,46	1,47	1,06	0,020
A3L1L3	51,82	1,46	1,06	0,019
A3L2L3	49,24	1,27	1,06	0,015
A3L1L2L3	51,26	1,27	1,06	0,018

Lampiran 3. Hasil perhitungan titik point

Titik	X [m]	Y [m]	Z [m]	Temperature [°C]
P1	0.5	0.9	0.1	55.64
P2	0.9	0.9	0.1	50.73
P3	1.2	0.9	0.1	49.23
P5	0.9	0.9	0.3	48.43
P6	1.3	0.9	0.3	49.22
P4	0.5	0.9	0.3	56.03
P7	1.2	0.9	0.5	55.90
P8	0.9	0.9	0.5	56.65
P9	0.5	0.9	0.5	57.18
P10	0.5	0.6	0.1	56.31
P11	0.9	0.6	0.1	53.49
P12	1.3	0.6	0.1	48.64
P13	0.5	0.6	0.3	54.99
P14	0.9	0.6	0.3	57.35
P15	1.3	0.6	0.3	53.36
P16	0.5	0.6	0.5	56.87
P17	0.9	0.6	0.5	53.64
P18	1.3	0.6	0.5	54.46
P19	0.9	0.2	0.3	58.94
P20	1.3	0.2	0.3	59.88
P21	1.3	0.4	0.1	59.92
P22	1.3	0.2	0.1	59.87
P23	0.9	0.2	0.1	58.82
P24	1.3	0.4	0.3	59.97
P25	0.5	0.4	0.5	59.25
P26	0.9	0.4	0.5	59.52
P27	1.3	0.4	0.5	59.94
P28	0.5	0.4	0.3	58.25
P29	0.9	0.4	0.3	59.08
P30	0.5	0.2	0.5	58.84
P31	0.5	0.2	0.3	55.87
P32	1.3	0.2	0.5	59.50
P33	0.9	0.2	0.5	59.54
P34	0.5	0.4	0.1	58.01
P35	0.9	0.4	0.1	59.23
P36	0.5	0.2	0.1	53.20
Standar Deviasi				3.55

Lampiran 4. Proses input data

Physical Features

Heat conduction in solids : Off
 Time dependent : Off
 Gravitational effects : On
 Flow type : Laminar and turbulent
 High Mach number flow : Off
 Humidity : Off
 Default roughness : 0 micrometer

Gravitational Settings

X component : 0 m/s²
 Y component : 0 m/s²
 Z component : 0 m/s²
 Default wall conditions : Adiabatic wall

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure : 1.01325 Bar Temperature : 60 °C
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 1 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.010 m

Material Settings

Fluids : Air

Boundary Conditions

Inlet Velocity 1

Type	Inlet Velocity
Faces	Face<2>
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Velocity normal to face: 1 m/s Fully developed flow: No
Thermodynamic parameters	Approximate pressure: 1.01325 Bar Temperature: 60 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.010 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Environment Pressure 2

Type	Environment Pressure
Faces	Face<2>
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 1.01325 Bar Temperature: 27 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.010 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Real Wall 1

Type	Ideal Wall
Faces	Face<1> Silinder
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
parameters	Rpm : 15
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.010 m

Real Wall 2

Type	Ideal Wall
Faces	Face<1-356> Rak
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.010 m

Goals

GG Average Temperature
GG Average Pressure
GG Average Velocity
GG Average Turbulence length
GG Average Time