LAPORAN TUGAS AKHIR

PERANCANGAN RUMAH PENGERING KOPI TIPE MINI

Disusun oleh:

Nama: Sufian Muhamad Hibatur Rahiim

NIM: 07.14.19.021

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI MEKANISASI PERTANIAN

POLITEKNIK ENJINIRING PERTANIAN INDONESIA (PEPI)

BADAN PENYULUHAN DAN PENGEMBANGAN SDM PERTANIAN

KEMENTRIAN PERTANIAN

2022

LAPORAN TUGAS AKHIR
PERANCANGAN RUMAH PENGERING KOPI TIPE MINI

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Ahli Madya Teknik (A.Md.T)

Disusun oleh:

Nama: Sufian Muhamad Hibatur Rahiim

NIM: 07.14.19.021

PROGRAM STUDI TEKNOLOGI MEKANISASI PERTANIAN

POLITENIK ENJINIRING PERTANIAN INDONESIA (PEPI)

BADAN PENYULUH DAN PENGEMBANGAN SDM PERTANIAN

KEMENTERIAN PERTANIAN

2022

HALAMAN PENGESAHAN

UJIAN TUGAS AKHIR

Judul Tugas Akhir : Perancangan Rumah Pengering Kopi Tipe Mini

Nama : Sufian Muhamad Hibatur Rahiim

NIM : 07.14.19.021

Program Studi : Teknologi Mekanisasi Pertanian

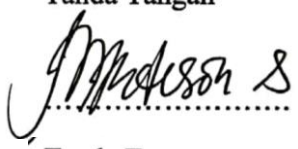
Jenjang : Diploma Tiga (D III)

Dinyatakan LULUS setelah dipertahankan di depan Tim Penguji Laporan Tugas Akhir Program Studi DIII Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI) Serpong.

Serpong, 5 Agustus 2022

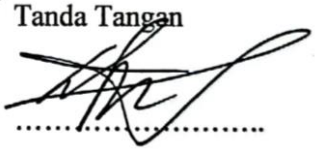
1. Penguji I
   Dr. Mardison S, S.TP., M.Si
   NIP. 197793282005011003

   Tanda Tangan



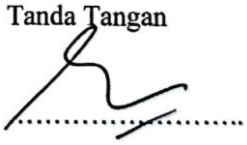
2. Penguji II
   Athoillah Azadi, S.TP., M.T
   NIP. 1983102220110111007

   Tanda Tangan

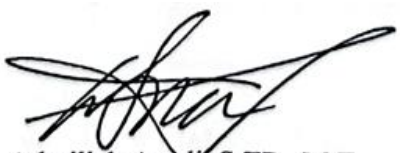


3. Penguji III
   Dr. Enrico Syaefullah, S.TP., M.Si
   NIP. 197304041999031002

   Tanda Tangan



Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknologi Mekanisasi Pertanian
Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI)



Athoillah Azadi, S.TP., M.T
NIP. 1983102220110111007

HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR

Judul	:	Perancangan Rumah Pengering Kopi Tipe Mini
Nama	:	Sufian Muhamad Hibatur Rahiim
NIM	:	07.14.19.021
Program Studi	:	DIII Teknologi Mekanisasi Pertanian
Jenjang	:	Diploma Tiga (D3)

Menyetujui:

Pembimbing I	Pembimbing II
Dr. Mardison S, S.TP., M.Si.	Athoillah Azadi, S.TP., M.T.
NIP. 197703282005011003	NIP. 1983102220110111007

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknologi Mekanisasi Pertanian
Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI)

Athoillah Azadi, S.TP., M.T
NIP. 1983102220110111007

Direktur
Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI)

Dr. Muhartiza, S.TP., M.Si.
NIP. 197911212008011007

Tanggal Lulus: Serpong, 10-08-2022

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama	:	Sufian Muhamad Hibatur Rahiim
NIM	:	07.14.19.021
Judul	:	PERANCANGAN RUMAH PENGERING KOPI TIPE MINI

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 di acu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila di kemudian 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,

Sufian Muhamad

NIM. 07.14.19.021

PERANCANGAN RUMAH PENGERING KOPI TIPE MINI

Sufian Muhamad Hibatur Rahiim

[1)]Mahasiswa Program Studi Teknologi Mekanisasi Pertanian, Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI)

ABSTRAK

Kopi merupakan tanaman perkebunan yang sudah lama dibudidayakan. Selain sebagai sumber penghasilan rakyat, kopi menjadi komoditas andalan ekspor dan sumber pendapatan devisa negara. Meskipun demikian, komoditas kopi sering kali mengalami fluktuasi harga sebagai akibat ketidakseimbangan antara permintaan dan persediaan komoditas kopi di pasar dunia. Pada perancangan tugas akhir rumah pengering kopi tipe mini menggunakan *software SolidWorks* dengan 4 tahapan pengerjaan, yaitu tahapan sketsa gambar kasar alat (*sketching*), tahapan pembuatan desain (*drawing*), tahapan penggabungan berbagai gambar (*assembly*), dan terakhir tahapan pembuatan gambar kerja (*layout*). Hasil rata-rata berat yang diperoleh dari satu tray yaitu 3,9 Kg dan memiliki kapasitas tampungan kopi sebesar 31,2 Kg/proses selama 3hari pengeringan, dengan 8 tumpukan biji kopi dalam satu rak pengering yang memiliki tinggi 6cm. Rumah pengering kopi tipe mini memiliki ketinggian 1022 mm, tinggi bagian belakang 795 mm, dan tinggi bagian depan 695 mm. Alat ini memiliki lebar 1019 mm dengan panjang 1320 mm. Rumah pengering kopi tipe mini ini memiliki bentuk persegi untuk bagian ruang pengering dan rangka kaki. Rumah pengering kopi tipe mini memiliki berat 33 Kg.

Kata Kunci: kopi, *SolidWorks*, perancangan, rumah pengering

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT. berkat Rahmat, Hidayah, dan Karunia-Nya kepada kita semua sehingga kami dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul "Perancangan Rumah Pengering Kopi Tipe Mini". laporan tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang program Diploma Tiga Teknik (A.Md.T) di Jurusan Teknologi Mekanisasi Pertanian, Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia (PEPI) Serpong.

Penulis menyadari dalam penyusunan laporan tugas akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Muharfiza, S.TP., M.Si., selaku Direktur Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia..
2. Bapak Dr. Mardison S., S.TP., M.Si., selaku Dosen Pembimbing 1.
3. Bapak Athoillah Azadi, S.TP., MT., selaku Dosen Pembimbing 2 dan Ketua Program Studi Teknologi Mekanisasi Pertanian.
4. Segenap Dosen prodi Teknologi Mekanisasi Pertanian yang telah memberi ilmunya kepada penulis.
5. Kedua orang tua yang mendukung baik moril serta materil, dan
6. Seluruh keluarga besar angkatan 1 Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia atas semua dukungan, semangat, serta kerjasamanya.

Dalam penyusunan laporan tugas akhir ini penulis menyadari bahwa masih banyak kekurangan baik dari penyusunan kalimat, data, maupun tata cara penulisannya. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun demi menghasilkan proposal yang lebih baik dikemudian hari.

Tangerang, 19 Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR vi
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL x
DAFTAR LAMPIRAN xi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1. Latar Belakang 1
1.2. Rumusan Masalah 2
1.3. Batasan Masalah 2
1.4. Tujuan Tugas Akhir 2
1.5. Manfaat Tugas Akhir 2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 3
2.1. Tanaman Kopi 3
2.2. Mekanisme Pengeringan 3
2.2.1. Pengeringan Kopi 4
2.2.2. Metode Pengeringan Kopi 5
2.3. Pengertian Perancangan 6
2.4. *Software Solidworks* 7
2.5. CAD *(Computer Aided Design)* 7
2.5.1. Gambar 2D 8
2.5.2. Gambar 3D 9
2.6. Daya Listrik 10
2.7. *Computational Fluid Dynamics* (CFD) 10
BAB III METODOLOGI 12
3.1. Waktu dan Tempat 12
3.2. Alat dan Bahan 12
3.3. Tahapan Pelaksanaan 12
3.4. Diagram Blok Kegiatan 12
3.4.1 Pendahuluan 13
3.4.2. Pengumpulan Data 13
3.4.3. Analisis 13
3.4.4. Perancangan 14

3.4.5. Simulasi 14
3.4.6. Pembuatan Laporan 15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 16
4.1. Perhitungan Perancangan Desain 16
4.1.2. Perhitungan Daya Aki ke Beban 17
4.2. Penentuan Bahan dan Material 17
4.3. Penggambaran Sketsa kasar Alat 19
4.4. Perancangan Desain Alat 19
4.5. Simulasi Aliran Udara Panas *(Flow Simulation)* 20
4.5.1. Parameter Simulasi 21
4.5.2. Hasil Simulasi 22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 30
5.1. Kesimpulan 30
5.2. Saran 30
DAFTAR PUSTAKA 31
LAMPIRAN 34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Tanaman kopi 3
Gambar 2. 3. *Computer aided design* 8
Gambar 2. 4. Gambar 2D 9
Gambar 2. 5. Gambar 3D 10
Gambar 3. 1. Diagram blok kegiatan 13
Gambar 4. 1. Sketsa kasar 3D alat mesin pengering biji kopi 19
Gambar 4. 2. Hasil desain rumah pengering kopi tipe mini 19
Gambar 4. 3. Parameter velocity atap 21
Gambar 4. 4. Parameter velocity sisi 21
Gambar 4. 5. Parameter output velocity 22
Gambar 4. 6. Simulasi arah aliran udara panas 22
Gambar 4. 7. Penentuan titik 23
Gambar 4. 8. Simulasi sampel 1 24
Gambar 4. 9. Penentuan titik sampel 1 25
Gambar 4. 10. Simulasi sampel 2 26
Gambar 4. 11. Penentuan titik sampel 2 27
Gambar 4. 12. Simulasi sampel 3 28
Gambar 4. 13. Penentuan titik sampel 3 29
Gambar 4. 14. Berat jenis kopi 40

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1. Tabel harga bahan 18
Tabel 4. 2. Tabel harga material..... 18
Tabel 4. 3. Berat total rumah pengering..... 18
Tabel 4. 4. Tabel data hasil *flow simulation*..... 23
Tabel 4. 5. Point parameter desain awal 23
Tabel 4. 6. Data hasil simulasi sampel 1..... 24
Tabel 4. 7. *Point parameter* sampel 1..... 25
Tabel 4. 8. Data hasil simulasi sampel 2..... 26
Tabel 4. 9. *Point parameter* sampel 2..... 27
Tabel 4. 10. Data simulasi sampel 3 28
Tabel 4. 11. *Point parameter* sampel 3..... 29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Jadwal palang tugas akhir 34
Lampiran 2. *Layout* pengering biji kopi 35
Lampiran 3. *Layout* kerangka 36
Lampiran 4. *Layout* kipas dan aki 37
Lampiran 5. *Layout* box dan panel surya 38
Lampiran 6. *Layout* rak pengering 39
Lampiran 7. Perhitungan kapasitas biji kopi dan daya aki 40

BAB I
PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kopi merupakan tanaman yang sudah lama dibudidayakan dan tanaman tahunan yang dapat mencapai usia produktif hingga 20 tahun. Kopi adalah salah satu komoditas yang menempati urutan 4 besar hasil ekspor didunia. Pusat budidaya kopi ini terdapat di Amerika latin, Asia-Pasifik, Amerika Tengah, dan Afrika.

Wilayah subtropis dan tropis merupakan lokasi yang baik untuk budidaya kopi. Badan Pusat Statistik (BPS) menunjukan, produksi kopi Indonesia mencapai 774,6 ribu ton pada tahun 2021. Produksi kopi Indonesia tersebut menjadi yang terbesar keempat di dunia dibawah Kolombia. Oleh karena itu, negara-negara yang mendominasi produksi kopi dunia berada di wilayah Amerika Selatan, Afrika, dan Asia Tenggara.

Banyak kendala yang dirasakan oleh para petani Indonesia untuk menghasilkan bji kopi berkualitas yang sesuai standar dunia. Penyebab kurang maskimalnya kualitas biji kopi tersebut karena cuaca yang sulit diprediksi, lahan yang sempit, dan tingkat kelembapan yang tinggi membuat proses pengeringan pada biji kopi kurang maksimal sehingga mempengaruhi kualitas pada biji kopi.

Salah satu metode untuk meningkatkan kualitas pengeringan kopi adalah dengan teknologi alat atau mesin pengering. Mesin pengeringan yang ada dilapangan pada umumnya memiliki kapasitas besar dengan biaya investasi yang mahal, hal tersebut mengakibatkan banyak petani kopi dengan produksi yang kecil mengalami kesulitan dalam proses pengeringan.

Melihat permasalahan tersebut perlu dikembangkan suatu alat pengering yang ekonomis, yang dapat digunakan oleh petani dengan produksi kopi yang kecil, tinkat teknologi yang mudah bagi petani, dapat digunakan pada daerah yang memiliki sumber energi listrik yang terbatas serta dapat diakses oleh petani secara langsung dengan biaya murah. Pada perancangan rumah pengering untuk meminimalisir kegagalan dan meningkatkan distribusi udara panas diperlukan analisis *computational fluid dynamics* (CFD), untuk mengetahui arah aliran udara panasnya.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang sudah dijelaskan, maka masalah yang akan dibahas pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana proses analisa teknis yang berhubungan dengan desain pengering.
2. Bagaimana proses perancangan dan distribusi aliran udara panas rumah pengering kopi tipe mini bertenaga surya.

1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan tugas akhir ini terarah, maka permasalahan di batasi pada:

1. Perancangan desain rumah pengering kopi tipe mini ini berfokus pada dimensi, bentuk, dan kapasitas.
2. Perancangan tidak termasuk membahas secara detail sistem kontrol solar panel pada pengering.

1.4. Tujuan Tugas Akhir

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam tugas akhir ini antara lain adalah:

1. Mengetahui analisis teknis pada perancangan rumah pengering kopi tipe mini.
2. Mengetahui rancangan desain dan distribusi aliran udara panas.

1.5. Manfaat Tugas Akhir

Manfaat yang di dapat dari Tugas Akhir:

1. Meningkatkan keterampilan desain menggunakan *software solidworks*
2. Mengetahui perancangan rumah pengering pengering biji kopi menggunakan *software* desain 2D dan 3D yaitu *solidworks.*
3. Meningkatkan keterampilan simulasi CFD untuk distribusi udara panas.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Kopi

Kopi merupakan tanaman perkebunan yang sudah lama dibudidayakan. Selain sebagai sumber penghasilan rakyat, kopi menjadi komoditas andalan ekspor dan sumber pendapatan devisa negara. Meskipun demikian, komoditas kopi sering kali mengalami fluktuasi harga sebagai akibat ketidakseimbangan antara permintaan dan persediaan komoditas kopi di pasar dunia (Rahardjo, 2012).

Kopi merupakan salah satu jenis tanaman perkebunan yang sudah lama dibudidayakan dan memiliki nilai ekonomis yang lumayan tinggi. Kopi berasal dari Afrika, yaitu daerah pegunungan di Etopia. Namun, kopi sendiri baru dikenal oleh masyarakat dunia setelah tanaman tersebut dikembangkan di luar daerah asalnya, yaitu Yaman di bagian selatan Arab (Hamni *et al.*, 2013).

Gambar 2. 1. Tanaman kopi
(sumber: pertaniaku.com)

2.2. Mekanisme Pengeringan

Udara yang terdapat dalam proses pengeringan mempunyai fungsi sebagai pemberi panas pada bahan, sehingga menyebabkan terjadinya penguapan air. Fungsi lain dari udara adalah untuk mengangkut uap air yang dikeluarkan oleh bahan yang dikeringkan. Kecepatan pengeringan akan naik apabila kecepatan udara ditingkatkan. Kadar air akhir apabila mulai mencapai kesetimbangannya, maka akan membuat waktu pengeringan juga ikut naik atau dengan kata lain lebih cepat. (Hendra, 2016). Faktor yang mempengaruhi pengeringan suatu bahan pangan menurut (Hendra, 2016) adalah:

1. Sifat fisik dan kimia dari bahan pangan;
2. Pengaturan susunan bahan pangan;

3. Sifat fisik dari lingkungan sekitar alat pengering;
4. Panas yang diterima oleh produk;

Prinsip pengeringan melibatkan dua kejadian, yaitu panas harus diberikan pada bahan yang akan dikeringkan, dan air harus dikeluarkan dari dalam bahan. Dua fenomena ini menyangkut perpindahan panas ke dalam dan perpindahan masa keluar. Faktor-faktor yang mempengaruhi dalam kecepatan pengeringan adalah: (Manalu & M. Husein, 2017).

1. Luas permukaan.
2. Perbedaan suhu sekitar.
3. Kecepatan aliran udara.
4. Tekanan Udara.

2.2.1. Pengeringan Kopi

Pengeringan merupakan kegiatan yang paling penting dalam pengolahan pasca panen, kualitas produk yang digunakan sangat dipengaruhi oleh proses pengeringan yang dilakukan (Mahapatra *et al.,* 2009). Contoh yang sederhana adalah pengeringan dengan sinar matahari dimana udara luar yang mendapatkan panas dari matahari melakukan kontak dengan bahan-bahan basah yang berada di tempat terbuka. Karena terjadi kontak, maka air dalam bahan akan menguap dan bahan akan menjadi lebih kering tergantung dari kecepatan udara, tingkat kemebapan relatif dan suhu udara setempat (Djaeni, 2008).

Pengeringan merupakan metode pengawetan yang sudah cukup lama ada di dunia ini. Makanan kering merupakan olahan pangan yang dikeringkan oleh alat sederhana dengan tujuan untuk diawetkan serta mengurangi kadar air yang ada pada pangan tersebut. Dengan dikeringkan, kualitas bahan pangan akan meningkat dan organisme pembusuk tidak akan tumbuh pada bahan pangan tersebut. Untuk menghasilkan pengeringan yang baik, temperatur yang digunakan untuk pengeringan sebesar 140-160°F (60-70°C) (Singh *et al*., 2016).

Secara umum proses pengeringan terdiri dari dua langkah proses yaitu penyiapan media pengering (udara) dan proses pengeringan bahan. Penyiapan media dilakukan dengan memanaskan udara yang dapat dilakukan dengan pemanas alam (matahari) atau buatan antara lain listrik, pembakaran kayum arang, batubara, dan bahan bakar minyak (Kudra dan Mujumdar, 2002).

2.2.2. Metode Pengeringan Kopi

Kombinasi suhu dan lama pemanasan selama proses pengeringan pada komoditi biji-bijian dilakukan untuk menghindari terjadinya kerusakan biji. Suhu udara, kelembaban relatif udara, aliran udara, kadar air awal bahan dan kadar akhir bahan merupakan faktor yang mempengaruhi waktu atau lama pengeringan (Brooker dan Hall, 1974). Menurut (Aak, 1980), metode pengeringan kopi dapat dilakukan dengan 3 cara yaitu:

1. Pengeringan dengan sinar matahari, dengan cara semua biji kopi diletakkan dilantai penjemuran secara merata.
2. Pengeringan dengan menggunakan mesin pengering (buatan), dimana pada mesin pengering tersebut terdiri atas tromol besi dengan dindingnya berlubang – lubang kecil.
3. Kombinasi cara alami dengan buatan.

Berdasarkan sumber panasnya, pengeringan pada biji kopi terdapat beberapa jenis, yaitu: pengeringan alami, pengeringan buatan, pengeringan kombinasi alami dan buatan

1. Pengeringan Alami

Biasanya cara pengeringan yang dilakukan oleh para petani yaitu dengan menggunakan sinar matahari *(sun drying)* atau yang disebut dengan pengeringan tradisional. (Zamharir *et al.*, 2016). Pengeringan secara alami hanya dilakukan pada musim kemarau, karena pengeringan ini tegantung dari cuaca. Apabila cuaca tidak baik mengakibatkan kopi cacat, berjamur dan berbau apek. Proses pengolahan kopi secara pengeringan alami dibagi menjadi dua, yaitu dengan proses olah basah dan kering. Untuk proses olah kering pengeringan biji kopi untuk mencapai kadar air 12% yaitu tergantung dengan cuaca, pada waktu cuaca cerah pengeringan dilakukan selama 2 minggu sampai apabila cuaca mendung bahkan sampai 3 minggu.

Sedangkan dengan proses olah basah pengeringan biji kopi untuk mencapai kadar air 12% biasanya antara 4 sampai 7 hari, hal ini juga bergantung pada cuaca saat penjemuran. Menurut (Aak, 1980), sistem pengeringan alami dilakukan dengan cara mula-mula kopi dihamparkan dilantai penjemur dengan ketebalan sekitar 4 cm. Setiap 1-2 jam hamparan kopi dibolak-balik dengan alat menyerupai garu yang terbuat dari bambu agar kopi cepat kering dan merata. Semakin cepat kering maka

mutu kopi semakin baik, karena fermentasi cepat berakhir. Metode pengeringan matahari sangat ekonomis namun memiliki berbagai kelemahan seperti memerlukan waktu yang lama, tergantung kondisi cuaca, namun sanitasi kurang terjaga (Airlangga *et al*., 2016).

2. Pengeringan Buatan

Sistem pengeringan secara buatan dilakukan dengan alat pengering yang membutuhkan waktu lebih singkat di bandingkan dengan cara alami. Alat pengering yang dilakukan pada perkebunan besar adalah mesin pengering otomatis dan rumah pengering (tungku). Prinsip pengeringan mekanis ini adalah pemanasan kopi melalui udara atau uap panas di dalam ruang tertutup. Selama menggunakan otomatis tidak perlu pengadukan sedangkan dengan pengering tungku harus dilakukan pengadukan (Aak, 1980).

Menurut (Rahardjo, 2012) pada perkebunan, pengeringan kopi lebih banyak dilakukan menggunakan mesin pengering dengan alasan utamanya adalah:

1. Dengan naiknya ongkos buruh, maka biaya relatif lebih kecil karena perlu tenaga kerja lebih sedikit dari pada penjemuran.
2. Pemakaian mesin pengering tidak tergantung dari cuaca sehingga lebih cepat pengeringannya.
3. Efisiensi panas yang lebih tinggi dari pada pemakaian sinar matahari atau cara dijemur.

Dalam proses pengeringan biji kopi, uap yang terkandung dalam biji kopi tidak langsung keluar saat biji kopi dimasukan keruangan pengering. Proses penguapan berlangsung saat temperatur yang diinginkan tercapai yaitu 50°C. Jika temperatur ruangan semakin tinggi maka kadar biji kopi akan cepat kering tetapi kualitas kopi yang dihasilkan kurang baik

2.3. Pengertian Perancangan

Rancang adalah kegiatan yang memiliki tujuan untuk mendesain sistem baru yang dapat menyelesaikan masalah-masalah yang dihadapi perusahaan yang diperoleh dari pemilihan alternatif sistem yang terbaik (Sutabri, 2012).

Menurut (Pranajaya *et al*., 2014) perancangan adalah suatu proses yang bertujuan untuk menganalisa, menilai, memperbaiki dan menyusun suatu sistem, baik secara fisik maupun non fisik. Hal tersebut dilakukan untuk jangka waktu

mendatang dengan memanfaatkan informasi perancangan suatu alat termasuk dalam metode teknik, dengan demikian langkah-langkah pembuatan perancangan akan mengikuti metode *Merris Asimow*. Metode *Merris Asimow* menerangkan perancangan teknik adalah suatu aktivitas dengan maksud tertentu menuju ke arah tujuan pemenuhan kebutuhan manusia.

Menurut (Yohanes, 2015) perancangan produk adalah sesuatu yang dirancang atau diproyeksikan dan diselesaikan dalam bentuk gambar dengan memperhatikan kualitas desain yang eksklusif dan representatif sehingga produk yang dihasilkan memiliki daya tarik dan daya saing tinggi.

2.4. *Software Solidworks*

Software merupakan sebuah program teknologi digital, tidak berbentuk secara nyata, dan digunakan untuk memanfaatkan proses pengolahan data (Andersson *et al*., 2021)

Solidworks adalah *software* CAD 3D yang dikembangkan oleh *Solidworks Coorporation* yang sekarang sudah diakuisisi oleh *Dassault Systems*. *Solidworks* merupakan salah satu 3D CAD yang sangat populer saat ini di Indonesia, sudah banyak sekali perusahaan manufaktur yang mengimplementasikan *software solidworks* (Sugeng, 2015). *Solidworks* sebagai bukti perkembangan teknologi *engineer* adalah sebuah 3D *Mechanical* CAD Program yang dikembangkan oleh *Dassault Systems Solidworks Corp* (Indraswara *et al*., 2015).

Software Solidworks merupakan *software* yang dapat digunakan dalam penerapan *Computer Aided Design* (CAD) dan *Computer Aided Manufacture* (CAM) dalam menggambar produk dan optimasi proses manufaktur dengan perangkat lunak (Setyoadi & Latifah, 2015). Kode konversi desain (G-code) menjadi input pada *software* Mach3 untuk menyampaikan sinyal informasi dan perintah menuju mesin *Computer Numerical Control* (CNC) yang mengubah karakter kode menjadi bahasa mesin dan menggerakkan *driver* motor (Harrizal *et al*., 2017).

2.5. CAD *(Computer Aided Design)*

CAD adalah suatu program komputer untuk menggambar produk atau bagian dari suatu produk yang dimulai dari pengumpulan ide, pembuatan sketsa (konsep), membuat model, detail *drawing*, menganalisa desain serta membuat

simulasi dan animasi. Produk yang ingin digambarkan bisa diwakili oleh garis-garis atau simbol-simbol mewakili makna tertentu (Mulyadi, 2018).

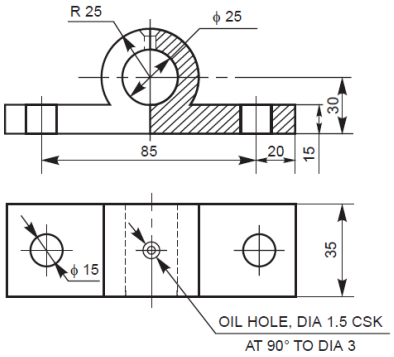
CAD bisa berupa gambar 2 dimensi dan gambar 3 dimensi. Perangkat lunak CAD dapat diintegrasikan dengan perangkat CAM *(Computer Aided Manufacture)* karena perangkat lunak CAD merupakan aplikasi gambar 3 dimensi atau biasa yang disebut *solid modeling* guna memvisualisasikan komponen dan perakitan secara *realistic*. *Solid modeling* mempunyai beberapa properti seperti massa, volume, pusat gravitasi, luas permukaan dan sebagainya yang berfungsi untuk analisa produk. Dasar CAD pada pembuatan produk atau analisa produk terdiri dari beberapa tahapan antara lain: Gambar 2D, Gambar 3D dan Analisa MKM (Mulyadi, 2018).

Gambar 2. 2. *Computer aided design*
(sumber: istockphoto.com)

2.5.1. Gambar 2D

Gambar 2D (2 Dimensi) Merupakan dimensi panjang dan lebar dalam satu bidang datar, jadi hanya ada panjang dan lebar saja tanpa adanya dimensi tebal. Bidang dua dimensi dapat digambarkan dengan sumbu X dan Y. Agar dapat tampil dengan sempurna, gambar yang akan ditampilkan dengan teknik ini harus memiliki nilai koordinat x dan y minimum dan maksimum sebesar resolusi yang digunakan (Mulyadi, 2018).

Macam-macam objek 2D: *Line*, *Circle*, *arc*, *polygon*, *text*, *section*, *rectangle*, *ellips*, *star*, *helix*. Tahap awal dari desain produk adalah membuat sketsa (konsep) yang diwakili dengan gambar 2D. Perangkat lunak dalam membuat gambar 2D dalam bidang teknik mesin menggunakan beberapa *software* seperti *AutoCad*, *Solidwork* guna memudahkan proses desain, menghemat waktu dan meminimalkan kesalahan proses pembuatan desain (Mulyadi, 2018).

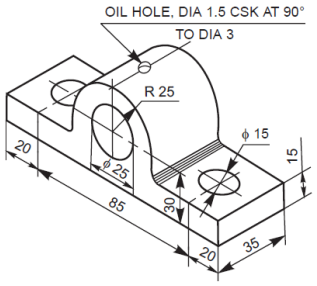


Gambar 2. 3. Gambar 2D
(sumber: arudamkanateknik.com)

2.5.2. Gambar 3D

Gambar 3D (3 Dimensi) Merupakan dimensi tebal pada gambar sehingga menjadikan gambar jauh lebih nyata dari pada gambar dua dimensi. Biasanya bidang tiga dimensi dinyatakan dengan sumbu X, Y, dan Z. Representasi dari data *geometric* 3 dimensi sebagai hasil dari pemrosesan dan pemberian efek cahaya terhadap komputer 2D. Tiga Dimensi, biasanya digunakan dalam penanganan grafis.3D secara umum merujuk pada kemampuan dari sebuah *video card (link).*Saat ini *video card* menggunakan variasi dari instruksi-instruksi yang ditanamkan dalam *video card* itu sendiri (bukan berasal dari *software*) untuk mencapai hasil grafik yang lebih realistis dalam memainkan game komputer (Mulyadi, 2018).

Konsep tiga dimensi atau 3D menunjukkan sebuah objek atau ruang memiliki tiga dimensi geometris yang terdiri dari: kedalaman, lebar dan tinggi. Contoh tiga dimensi suatu objek/benda adalah bola, piramida atau benda spasial seperti kotak sepatu. Mengacu pada tiga dimensi spasial, bahwa 3D menunjukkan suatu titik koordinat cartesian X, Ydan Z. Penggunaan istilah 3D ini dapat digunakan diberbagai bidang dan sering dikaitkan dengan hal-hal lain seperti spesifikasi kualitatif tambahan (misalnya : grafis tiga dimensi, 3D video, film 3D, kacamata 3D, suara 3D). Macam-macam objek 3D: *Box, sphare*, *cyllinder*, *tube*, *pyramid*, *hedra*. Gambar ini menempati ruang dimensi berkoordinat X, Y dan Z. Gambar yang menempati dimensi ruang panjang lebar dan tinggi bisa dikategorikan sebagai gambar tiga dimensi (Mulyadi, 2018).



Gambar 2. 4. Gambar 3D
(Sumber: ardudamkanateknik.com)

2.6. Daya Listrik

Menurut (Rumbayan & Narasiang, 2021) Daya listrik merupakan kemampuan suatu peralatan listrik untuk melakukan usaha akibat adanya perubahan kerja dan perubahan muatan listrik tiap satuan waktu. Besarnya daya listrik yang dilakukan oleh peralatan listrik dipengaruhi oleh keberadaan tegangan listrik, kuat arus listrik, dan hambatan listrik di dalam rangkaian listrik tertutup, serta keadaannya terhadap waktu. Ketiga besaran listrik tersebut menjadi penentu dari besarnya daya listrik yang diperlukan oleh peralatan listrik untuk bekerja secara optimal. Nilai daya listrik umumnya dicantumkan pada label peralatan listrik untuk menunjukkan besarnya energi yang dibutuhkan oleh perangkat listrik untuk dapat bekerja tiap satuan waktu. Berdasarkan rumus perhitungan daya dapat didapat rumus sebagai berikut:

$$\text{Pt} = \frac{\text{Kapasitas baterai}}{\text{arus beban}} \quad \ldots\ldots\ldots\

kebutuhan penelitian bahkan sampai dengan tingkat desain, perlu suatu alat yang mampu menganalisis atau memprediksi dengan cepat dan akurat. Maka berkembanglah suatu ilmu yang dinamakan *Computational Fluid Dynamic* (CFD) yang dalam Bahasa Indonesia dikenal dengan aliran fluida dinamik (Robert *et al.*, 2004). Secara umum CFD terdiri dari dia kata, yaitu sebagai berikut (Tuakia, 2008):

1. *Computational*: Segala sesuatu yang berhubungan dengan matematika dan metode numerik atau komputasi.
2. *Fluid Dynamic*: dinamika dari segala sesuatu yang mengalir.

CFD adalah metode perhitungan dengan sebuah kontrol dimensi, luas dan volume dengan memanfaatkan bantuan komputasi komputer untuk melakukan perhitungan pada tiap-tiap elemen pembaginya. Prinsipnya adalah suatu ruang yang berisi fluida yang akan dilakukan penghitungan dibagi-bagi menjadi beberapa bagian, hal ini sering disebut dengan sel dan prosesnya dinamakan meshing. Bagian-bagian yang terbagi tersebut merupakan sebuah kontrol penghitungan yang akan dilakukan oleh aplikasi. Kontrol-kontrol penghitungan ini beserta kontrol-kontrol penghitungan lainnya merupakan pembagian ruang yang disebut tadi atau *meshing*. Nantinya, ada setiap titik kontrol penghitungan akan dilakukan penghitungan oleh aplikasi dengan batasan *domain* dan *boundary condition* yang telah ditentukan (Logan, 2017).

BAB III
METODOLOGI

3.1. Waktu dan Tempat

Pelaksanaan kegiatan Tugas Akhir dilaksanakan pada tanggal 6 Juni 2022 hingga tanggal 19 Juli 2022. Tempat dilaksanakannya yaitu di Lab. Desain Politeknik Enjiniring Pertanian Indonesia, Jl. Sinarmas Boulevard, Situ Gadung, Kec. Pagedangan, Kabupaten Tangerang, Banten (15338).

3.2. Alat dan Bahan

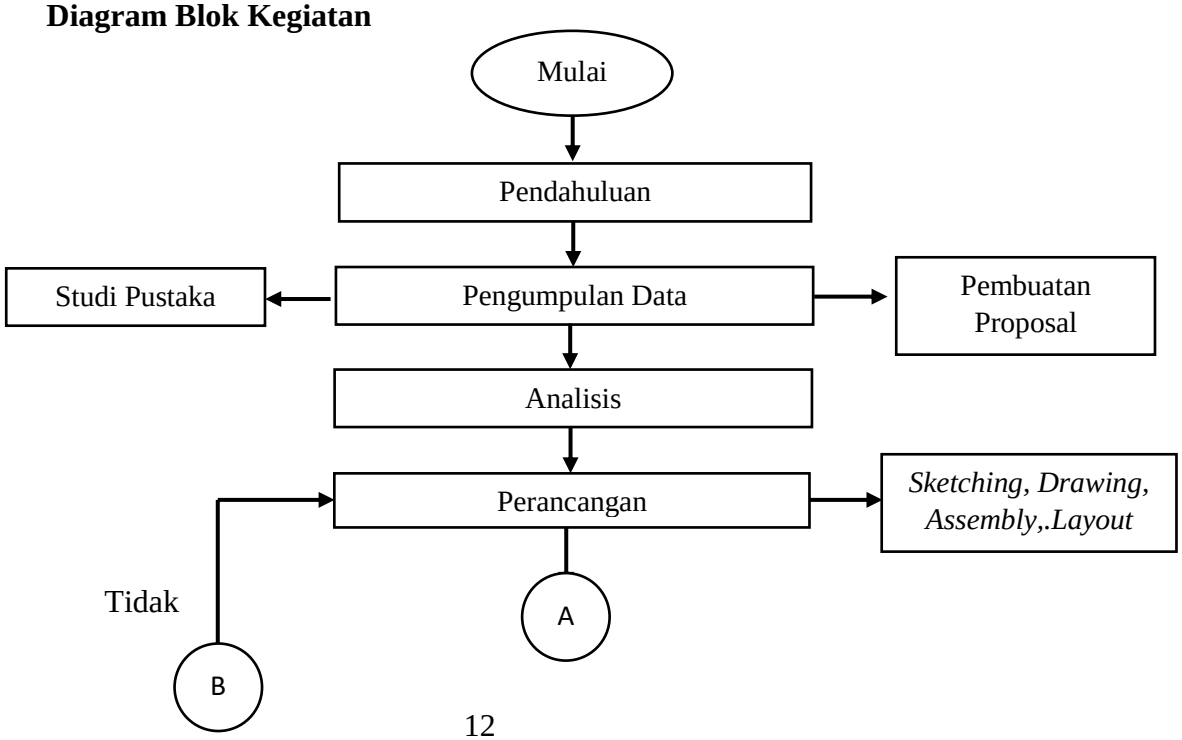
Alat dan bahan yang digunakan pada saat pelaksaaan Tugas Akhir sebagai berikut:

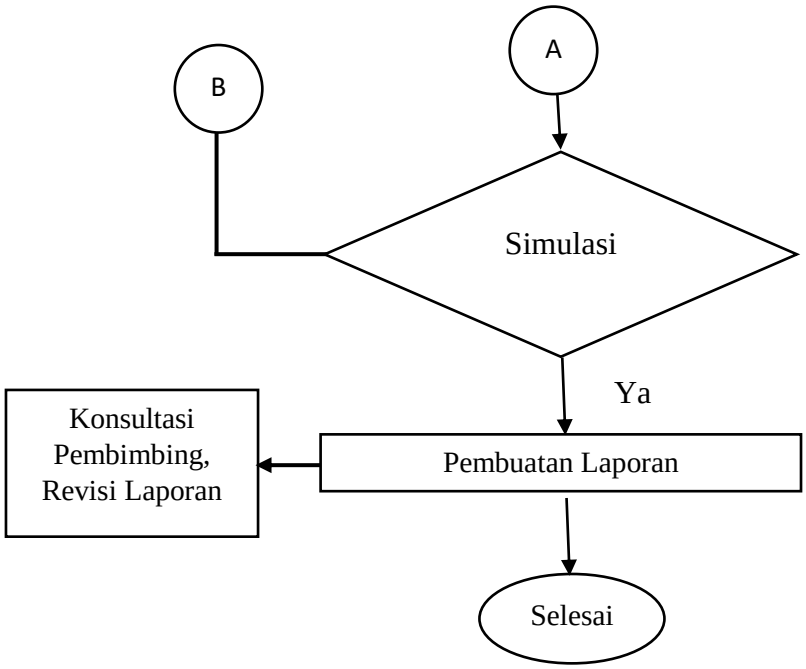
1. Laptop atau komputer desain.
2. *Software SolidWorks*.
3. Alat tulis, alat ukur, dan kertas untuk proses penggambaran sketsa

3.3. Tahapan Pelaksanaan

Pada perancangan tugas akhir rumah pengerin kopi tipe mini menggunakan *software solidworks* dengan 4 tahapan pengerjaan, yaitu tahapan sketsa gambar kasar alat *(sketching)*, tahapan pembuatan desain *(drawing)*, tahapan penggabungan berbagai gambar *(assembly)*, dan terakhir tahapan pembuatan gambar kerja *(layout)*.

3.4. Diagram Blok Kegiatan





Gambar 3. 1. Diagram blok kegiatan

Berdasarkan diagram blok diatas dapat dijelaskan secara detail kegiatan dalam melakukan tugas akhir ini, yaitu:

3.4.1 Pendahuluan

Pada proses ini penulis menentukan tema perancangan suatu alat mesin pascapanen untuk mendapatkan dan menemukan masalah yang akan dilakukan:

1. Melakukan pengumpulan data yang diperlukan dalam pembuatan proposal.
2. Menentukan tema yang akan dijadikan tugas akhir yaitu Perancangan Rumah Pengering Kopi Tipe Mini, dengan cara melakukan survey pustaka guna mendalami teori yang bersangkutan dengan tema yang dipilih.
3. Melakukan penyusunan proposal tugas akhir.
4. Membuat rencana kegiatan dalam penyusunan tugas akhir.

3.4.2. Pengumpulan Data

Pada proses ini dilakukan studi literatur tentang teori-teori yang digunakan sebagai acuan dalam menyelesaikan masalah yaitu:

1. Pengertian mesin pengertian serta prinsip kerja pengeringan.
2. Pengertian mesin pengertian serta prinsip kerja pengeringan.
3. Penggunaan *software solidworks*.
4. Studi pustaka, dengan mempelajari buku-buku, modul, dan jurnal penelitian yang berhubungan dengan tema tugas akhir.

3.4.3. Analisis

Analisis dilakukan untuk mencari literatur dan informasi lainnya tentang rumah pengering dan perancangan menggunakan *software solidworks*. Perlu

dilakukannya analisis guna mendapat data dan informasi yang berasal dari sumber terverifikasi.

3.4.4. Perancangan

Pada tahap ini dilakukan perancangan dari mulai penggambaran sketsa hingga hasil akhir dari rancangan alat mesin, adapun proses perancangan sebagai berikut:

1. Pembuatan gambar kasar *(sketching)*

   Gambar kasar merupakan langkah awal sebelum melakukan desain. Gambar kasar berupa gambar 2D yang dibuat menggunakan pensil dan kertas.

2. Pembuatan desain *(drawing)*

   Gambar kasar yang telah dibuat kemudian di desain menggunakan solidwork. Langkah awal drawing pada setiap bagian rumah pengering dimulai dari pembuatan rangka kaki, rangka ruang pengering, rangka penopang *box*, dan rangka penopang panel surya. Setelah pembuatan rangka kemudian pembuatan standar part yang ada di pasaran seperti solar panel, *box*, aki, rak pengering, dan tarikan rak.

3. Penggabungan berbagai gambar*(assembly)*

Proses selanjutnya penggabungan *part*. Proses ini dilakukan setelah seluruh *part* sudah dibuat kemudian digabung dan menghasilkan bentuk 3D pada alat.

4. Pembuatan gambar kerja *(layout)*

Penggabungan *part* yang telah dilakukan kemudian dibuat gambar kerja. Gambar kerja dibuat untuk mengetahui dimensi keseluruhan pada alat dan mengetahui bentuk alat dari berbagai tampak.

3.4.5. Simulasi

Gambar rumah pengering yang telah dibuat secara 3D kemudian dilakukan proses simulasi untuk mengetahui aliran udara panas, sebaran panas, dan untuk mengetahui rata-rata suhu yang terdapat pada ruang pengering. Proses simulasi ini menggunakan fitur yang terdapat pada *software solidworks* dan proses ini menggunakan bangun ruang yang dimasukan informasi mengenai suhu dan kecepatan udara.

3.4.6. Pembuatan Laporan

Tahap ini merupakan tahap pembuatan laporan yang berisi hasil dari pelaksanaan tugas akhir, adapun tahap yang dilakukan:

1. Konsultasi pembimbing dilakukan seminggu sekali selama proses tugas akhir berlangsung.
2. Revisi laporan tugas akhir.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perhitungan Perancangan Desain

Perhitungan perancangan desain digunakan untuk menghitung kapasitas biji kopi yang dapat ditampung pada alat. Terdapat 6 perhitungan pada lampiran 7 untuk mengetahui seberapa banyak biji kopi dapat ditampung alat ini.

1. Perhitungan Tumpukan Kopi dalam 1 Liter

Perumpamaan kubus yang memiliki daya tampung 1 liter kopi dengan ukuran panjang 10 cm, lebar 10 cm, dan tinggi 10 cm atau $1dm^3$. Kopi memiliki diameter 0,7 cm. Perhitungan kopi dalam 1 liter yaitu panjang dibagi diameter atau 10 dibagi 0,7 dan memperoleh hasil 14. Jadi dalam satu liter kopi dapat ditumpuk hingga 14 biji kopi.

2. Perhitungan Berat Jenis Kopi dalam 1 liter

Biji kopi segar memiliki berat jenis sebesar 561 Kg/m^3. Berat jenis dibagi dengan akar 1000 dm^3. Angka 1000 diperoleh dari penaikan dari cm ke dm, karena akar 3 maka hasilnya 1000. Setelah itu berat jenis kopi dibagi dengan 1000 dm3 memperoleh hasil 0,561 Kg/liter. Jadi dalam satu liter dapat menampung biji kopi seberat 0,561 Kg.

3. Perhitungan Berat Biji Kopi dalam Satu Tray pada Luasan $100cm^2$

Perhitungan selanjutnya menghitung berat biji kopi satu *tray* dalam luasan $100cm^2$. Perhitungan dimulai dari pembagian berat jenis dan tumpukan kopi. Karena sudah diketahui berapa tumpukan biji kopi dan kapasitas biji kopi maka perhitungannya berat jenis dibagi dengan tumpukan biji kopi yang terdapat pada lampiran 7. Hasil yang diperoleh 40, artinya dalam satu tray memiliki berat 40 $gr/100\ cm^2$.

4. Perhitungan Luas Rak Pengering

Perhitungan selanjutnya adalah menghitung luas *tray* pada rumah pengering menggunakan rumus p x l. Diketahui pada lampiran 7 panjang tray 99,5 cm dan lebar *tray* 98 cm. Langkah selanjutnya panjang dikalikan dengan lebar dan memperoleh hasil 9751 cm^2.

5. Perhitungan Berat Biji Kopi pada 1 Layer Rak Pengering

Pada proses perhitungan selanjutnya ialah menghitung berat biji kopi dalam satu layer pada rak pengering. Diketahui luas rak pengering 9751 cm^2 dan berat biji kopi dalam 1 *tray* 40 gr. Perhitungan diperoleh dari luas rak pengering dikalikan dengan berat 1 *tray* pada luasan 100 cm^2 dan memperoleh hasil sebesar 3,9 Kg. Jadi satu layer pada rak pengering mampu menampung biji kopi seberat 3,9 Kg

6. Perhitungan Kapasitas Biji Kopi pada Rak Pengering

Tahap awal untuk menghitung kapasitas kopi dalam satu rak pengering yaitu menentukan berapa tumpukan biji kopi dengan ketinggian rak 6 cm. Diketahui pada lampiran 7 diameter biji kopi adalah 0,7 cm. Langkah selanjutnya tinggi rak dibagi dengan diameter kopi dan memperoleh hasil 8. Jadi dengan ketinggian rak 6 cm mampu menampung biji kopi sebanyak 8 tumpukan.

Tahap selanjutnya jika sudah mengetahui berapa banyak tumpukan biji kopi adalah banyaknya tumpukan biji kopi dikali dengan berat biji kopi dalam satu layer. Dari perhitungan pada lampiran 7 memperoleh hasil 31,2 Kg. Jadi pada luasan rak pengering sebesar 9751 cm^2 dan ketinggian rak 6 cm dapat menampung biji kopi sebanyak 31,2 Kg/proses selama 3 hari dengan 8 tumpukan biji kopi.

4.1.2. Perhitungan Daya Aki ke Beban

Aki merupakan batere yang digunakan untuk menampung energi listrik. Energi listrik yang diperoleh berasal dari engeri matahari yang diubah menjadi energi listrik kemudian energi listrik disalurkan menuju *exhaust fan.*

Perhitungan daya aki digunakan untuk mengukur seberapa lama aki dapat menampung daya listrik. Perhitungan ini juga digunakan untuk mengetahui seberapa lama kipas dapat dihidupkan. Dari hasil perhitungan kapasitas penampungan daya aki (1) pada lampiran 7 diperoleh yaitu 42. Jadi daya aki yang menampung energi listrik sebesar 84 Wh dan mampu menghidupkan kipas selama 1 hari 18 jam dengan daya beban dari kipas sebesar 2 Watt (1 kipas)

4.2. Penentuan Bahan dan Material

Keseluruhan biaya yang nantinya diperlukan untuk pembuatan rumah pengering tipe mini bisa dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 1. Tabel Harga Bahan

No.	Nama Bahan	Jumlah	Harga
1.	Box panel listrik	1 buah	Rp. 130.000
2.	*Solar charge controller*	1 buah	Rp. 60.000
3.	Kabel *solar charge controller*	1,5 meter	Rp. 68.000
4.	Kabel panel surya	1 meter	Rp. 14.500
5.	Konektor panel surya	1 pasang	Rp. 17.000
6.	Kenika solar panel	1 buah	Rp. 120.000
7.	Aki 12V 7AH	1 buah	Rp. 450.000
8	*Handle* rak	1 buah	Rp. 18.000
9.	*Exhaust fan*	1 buah	Rp. 20.000
	Total		Rp. 897.500

Tabel 4. 2. Tabel Harga Material

No.	Nama Material	Jumlah	Harga
1.	Kaca	2 meter	Rp. 195.000
2.	*Hollow* aluminium	150 cm x (8batang)	Rp. 160.000
3.	Siku aluminium	1 meter	Rp. 55.000
4.	Plat aluminium	1 lembar (1x2m)	Rp. 45.000
	Total		Rp. 455.000

Keseluruhan biaya dari bahan dan material jika di total Rp. 897.500 + Rp. 455.000 adalah Rp. 1.352.500. Biaya ini merupakan asumsi dari hasil studi literatur harga bahan dan material di internet. Biaya jika alat dibuat bisa kurang atau lebih dari rincian biaya yang ada pada tabel, karena harga di internet dengan harga pasaran pasti memiliki harga yang berbeda. Setelah menentukan bahan dan material langkah selanjutnya mengukur berat keseluruhan alat. Adapun berat yang diperoleh sebagai berikut.

Tabel 4. 3. Berat Total Rumah Pengering

No.	Nama Part	Berat (Kg)
1.	Tutup box	0,2
2.	*Box*	1,2
3.	Rak	5,7
4.	Aki	2,5
5.	Gagang rak	0,027
6.	Solar panel	1,8
7.	Rangka kaki	2,1
8.	Rangka penopang box	3,3
9.	Rangka penopang panel	5,5
10.	Rangka sisi	4,4
11.	Kaca Atas	4,8
12.	Kaca samping	1,9
	Total Berat	33,427

Penentuan bahan dan material sangat mempengaruhi berat total dari suatu alat atau mesin. Selain itu, dapat mempengaruhi modal dan harga jual. Perhitungan berat total alat dilakukan menggunakan *solidworks* dengan memasukan material yang dibutuhkan. Dari tabel diatas diperoleh berat total rumah pengering kopi tipe mini sebesar 33,427 Kg jika dibulatkan menjadi 33 Kg.

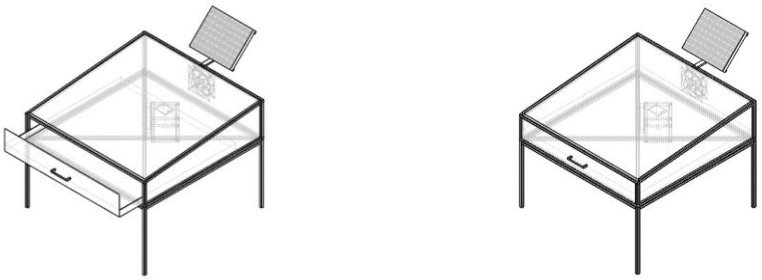
4.3. Penggambaran Sketsa kasar Alat

Penggambaran sketsa kasar adalah langkah awal yang harus dilakukan sebelum melakukan proses desain alat di *software*. Sketsa kasar digunakan untuk merealisasikan ide yang masih abstrak dengan tujuan untuk mengetahui bentuk dari alat yang dibuat. Proses sketsa kasar ini dilakukan secara manual atau tulis tangan. Adapun sketsa gambar yang sudah dibuat:

Gambar 4. 1. Sketsa kasar 3D alat mesin pengering biji kopi

4.4. Perancangan Desain Alat

Proses selanjutnya setelah sketsa alat adalah mendesain alat menggunakan salah satu *software* yaitu *solidworks*. *Solidworks* ini memudahkan desainer untuk menyelesaikan desain yang dibuat serta membuat gambar kerja yang nantinya memudahkan pada proses pembuatan alatnya. Adapun hasil desain dari rumah pengering kopi tipe mini sebagai berikut:



Gambar 4. 2. Hasil desain rumah pengering kopi tipe mini

Hasil akhir dari desain rumah pengering kopi tipe mini berbentuk persegi. Dimensi akhir yang diperoleh, yaitu:

1. Tinggi total : 1022 mm
2. Tinggi bagian belakang : 795 mm
3. Tinggi bagian depan : 695 mm
4. Lebar : 1019 mm
5. Panjang : 1320 mm

Dari hasil desain memperoleh tinggi total 1022 mm diukur dari ujung alat paling depan hinga ujung dari panel surya. Tinggi dari alat bagian belakang 795 mm dan bagian depan 695 mm. Lebar yang diperoleh 1019 mm. Panjang total sebesar 1320 mm. Bentuk rancangan alat persegi untuk bagian rangka kaki dan rangka ruang pengering.

Rumah pengering kopi ini menggunakan rak geser seperti laci untuk memudahkan petani kopi mengambil dan meletakkan kopi pada alat. Selain itu, rumah pengering kopi tipe mini ini menggunakan panel surya untuk menyerap energi matahari lalu di simpan pada aki lalu dijadikan energi listrik sehingga petani kopi tidak perlu menggunakan listrik.

Alat ini mempunyai tinggi yang ideal sesuai dengan rata-rata orang Indonesia 154-166 cm, artinya pada proses pengeringan kopi petani tidak terlalu bungkuk atau terlalu tinggi. Sehingga dapat disimpulkan rumah pengering kopi ini dikatakan ergonomis dalam fungsi operasionalnya.

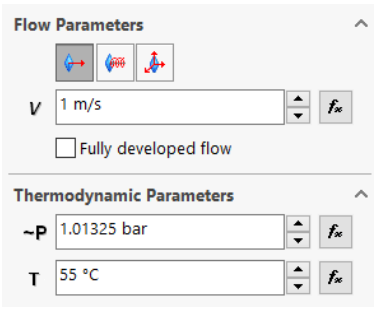
4.5. Simulasi Aliran Udara Panas *(Flow Simulation)*

Flow Simulation merupakan program analisa aliran panas dan simulasi aliran fluida yang telah tersedia oleh *software solidworks*. Simulasi digunakan untuk mengetahui aliran panas pada alat mesin pengering biji kopi secara nyata dengan menggunakan parameter temperatur yang telah diinput. (Khatir *et al.*, 2020) melakukan penelitan terhadap alat pengering tenaga surya dan dihasilkan hasil standar deviasi dari pengeringan didalam pengering adalah 4,42°C. Dapat disimpulkan semakin kecil nilai standar deviasi maka semakin bagus proses pengeringan pada alat.

4.5.1. Parameter Simulasi

Parameter ini digunakan untuk menginput data mulai dari kecepatan arah aliran panas, parameter suhu panas, parameter turbulensi, hingga target hasil data yang ingin di peroleh. Simulasi yang dilakukan penulis ingin mengetahui arah aliran panas pada alat. Terdapat 2 input parameter panas, yaitu:

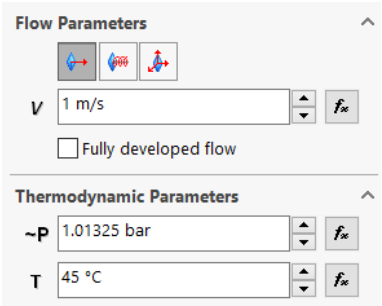
1. *Inlet Velocity* Atap



Gambar 4. 3. Parameter *velocity* atap

Parameter pertama ini dimasukan pada bagian atap alat dengan kecepatan udara yang sebesar 1 m/s. Lalu tekanan yang dimasukkan sebesar 1 bar dan suhu tertinggi yang dimasukkan sebesar 55°C.

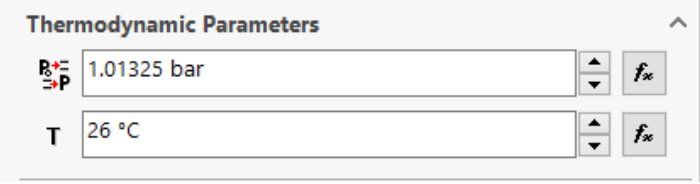
2. *Inlet Velocity* Sisi



Gambar 4. 4. Parameter *velocity* sisi

Parameter kedua yang dimasukkan pada bagian sisi kanan, sisi kiri, dan sisi depan rangka rak. Kecepatan udara sebesar 1 m/s, tekanan yang dimasukkan 1 bar dan temperature 45°C. Temperatur dimasukkan dengan nilai yang berbeda karena bagian sisi tidak terkena matahari langsung sehingga suhu yang terdapat pada bagian sisi tidak terlalu panas.

3. *Environment Pressure*



Gambar 4. 5. Parameter *output velocity*

Parameter ketiga dimasukkan pada bagian lubang kipas sebagai output udara panas. Parameter temperatur yang dimasukkan sebesar 26°C sebagai input udara luar paling dingin sehingga warna dari udara panas yang terdapat di rak pengering dapat berubah.

Keterangan:

V = Kecepatan Udara (m/s)

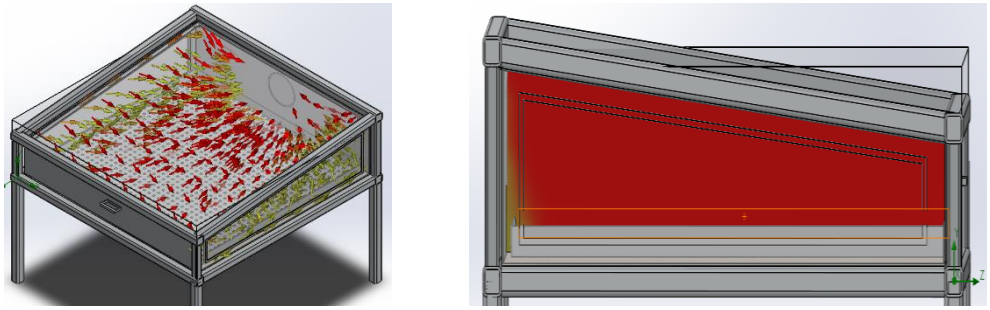
~P = Tekanan (Pa)

T = Temperatur (C)

4.5.2. Hasil Simulasi

Parameter yang telah diinput memperoleh hasil simulasi arah aliran udara panas serta sisi yang terkena udara panas. Ada 3 sampel

1. Simulasi Desain Awal



a b

Gambar 4. 6. Simulasi arah aliran udara panas

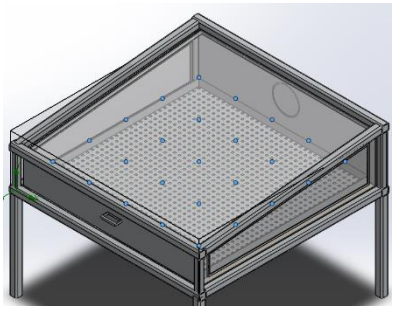
Simulasi dilakukan menggunakan salah satu fitur yang terdapat pada *solidworks* yaitu *flow simulation* dimana fitur ini menyediakan berbagai pilihan fitur-fitur lainnya untuk melakukan simulai. *Flow tracjectories* dan *cut plot* merupakan fitur yang digunakan untuk melihat arah aliran udara panas yang berlangsung pada ruang pengering, sedangkan *cut plot* merupakan fitur yang

digunakan untuk melihat sebaran aliran udara panas pada ruang pengering. Adapun data suhu yang diperoleh sebagai berikut:

Tabel 4. 4. Tabel Data Hasil *Flow Simulation*

Name	Minimum *Value*			*Maximum Velue*	*Average Velue*
Temperature	42,42	55,03	50,36		
	45 44,94 45	55,05 55 55,2	50,36 50,35 50,36		

Terdapat 4 data yang dihasilkan dari proses simulasi yang telah dilakukan. Data tersebut merupakan data hasil aliran panas yang terdapat didalam ruang pengering. Dari 4 data tersebut hasil minimal dari suhu sebesar 43°C dan suhu maksimal berada di angka 55°C. Rata-rata suhu yang diperoleh ada 51°C, suhu yang terdapat pada ruang pengering memiliki perbedaan 6-14°C dari suhu normal yang berada diluar alat pengering. Untuk mengetahui seberapa baik kinerja maka penulis menentukan 25 titik agar memperoleh nilai rata-rata pada alat. Adapun standar deviasi yang diperoleh:



Gambar 4. 7. Penentuan titik

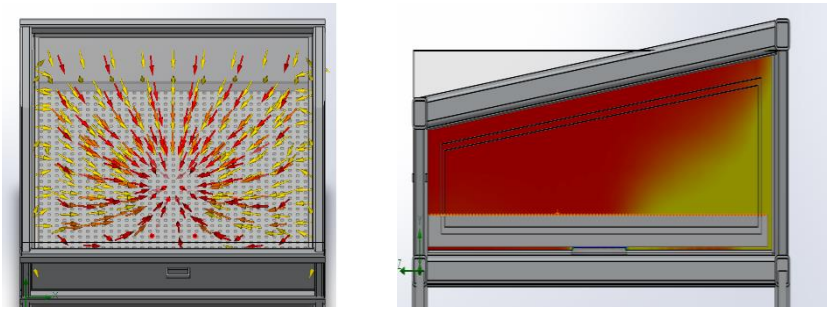
Tabel 4. 5. Point parameter desain awal

X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Temperature (Fluid) [°C]
500	132,078329	-500	54,98753703
300	132,078329	-500	54,99210118
100	132,078329	-500	47,68745927
700	132,078329	-500	54,99214304
900	132,078329	-500	48,0739317
900	132,078329	-300	50,28382362
900	132,078329	-100	52,35363721
900	132,078329	-700	45,88403179
900	132,078329	-900	45,21049048
700	132,078329	-900	47,44251822
500	132,078329	-900	54,33092026

300	132,078329	-900	47,12591689
100	132,078329	-900	45,03577949
100	132,078329	-700	45,64912214
300	132,078329	-700	54,89590483
500	132,078329	-700	54,96255549
700	132,078329	-700	54,9193075
700	132,078329	-300	54,99801249
700	132,078329	-100	54,99919199
500	132,078329	-100	54,89692075
300	132,078329	-100	54,99986534
100	132,078329	-100	51,79469745
100	132,078329	-300	49,60573955
300	132,078329	-300	54,99800083
500	132,078329	-300	54,99397254
Standar deviasi(STDEV)			3,83190364

Dari penentuan 25 titik memperoleh hasil standar deviasi 3,8. Dapat disimpulkan bahwa desain awal memiliki pengeringan yang optimal karena semakin rendah nilai standar deviasi nya maka semakin bagus proses pengeringan pada alat.

2. Sampel 1



a b

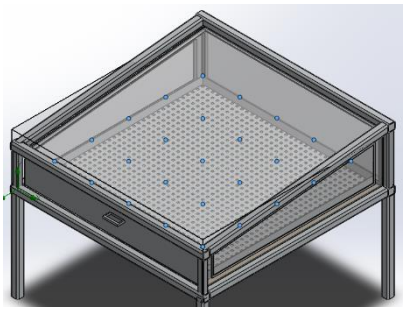
Gambar 4. 8. Simulasi sampel 1

Proses simulasi pada posisi kipas dibawah rak memiliki sebaran panas yang berbeda dari desain awal. Input udara panas yang dimasukan terletak dibagian atap, sisi kanan, sisi kiri, dan sisi belakang, sedangkan kipas berada dibawah rak. Udara panas yang masuk kemudian terbuang ke arah bawah menyebabkan sebaran udara panas dipinggir ruang pengering lebih rendah suhu nya dibandingkan sebaran udara panas yang terdapat di tengah ruang pengering. Adapun data suhu yang telah diperoleh:

Tabel 4. 6. Data hasil simulasi sampel 1

No	Suhu(C)		
	Minimum	Maximum	Average
1.	44,8	55	51,8
2.	44,8	55	51,8
3.	44,8	55	51,8
4.	44,8	55	51,8

Terdapat 4 data yang dihasilkan. Data diatas merupakan data yang diperoleh dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Minimum suhu yang diperoleh sebesar 44,8°C, maximum suhu 55°C, dan rata-rata suhu yang diperoleh 51,8°C. Adapun standar deviasi yang diperoleh:



Gambar 4. 9. Penentuan titik sampel 1

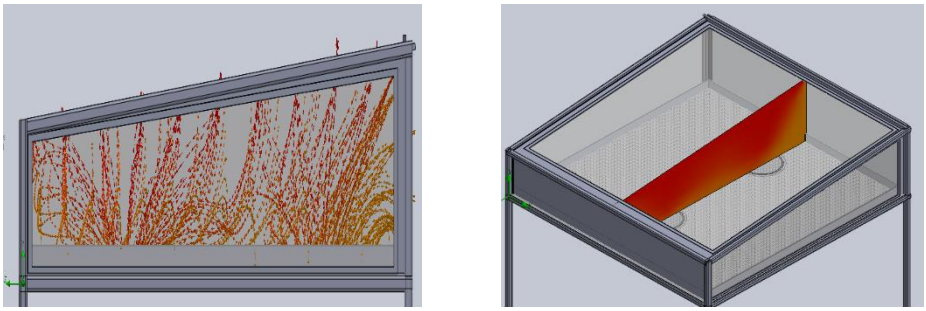
Tabel 4. 7. Point parameter sampel 1

X [m]	Y [m]	Z [m]	Temperature (Fluid) [°C]
0,5	0,132078329	-0,4982	54,94937367
0,5	0,132078329	-0,3	54,98101337
0,5	0,132078329	-0,1	54,97238813
0,5	0,132078329	-0,9	45,43068714
0,5	0,132078329	-0,7	49,86612629
0,7	0,130078329	-0,5	51,71674198
0,9	0,130078329	-0,5	46,60291993
0,1	0,130078329	-0,5	46,39183221
0,3	0,130078329	-0,5	51,57278253
0,3	0,130078329	-0,3	53,53345093
0,3	0,130078329	-0,1	54,82076395
0,1	0,130078329	-0,1	49,99422305
0,1	0,130078329	-0,3	47,96034576
0,1	0,130078329	-0,7	45,86806274
0,1	0,130078329	-0,9	45,16800409
0,3	0,130078329	-0,9	45,51976284
0,3	0,130078329	-0,7	50,83892818
0,7	0,130078329	-0,7	50,9496889
0,9	0,130078329	-0,7	46,00608274
0,9	0,130078329	-0,9	45,21550376
0,7	0,130078329	-0,9	45,49678177
0,7	0,130078329	-0,3	53,61872615

0,7	0,130078329	-0,1	54,83397418
0,9	0,130078329	-0,1	50,51206579
0,9	0,130078329	-0,3	48,32933629
Standar deviasi (STDEV)			3,603270418

Dari penentuan 25 titik memperoleh hasil standar deviasi 3,6. Dapat disimpulkan bahwa desain awal memiliki pengeringan yang optimal karena semakin rendah nilai standar deviasi nya maka semakin baik proses pengeringan pada alat.

3. Sampel 2



a b

Gambar 4. 10. Simulasi sampel 2

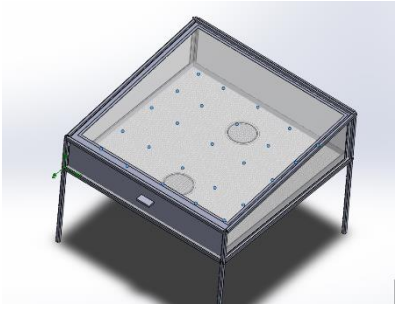
Proses simulasi pada sampel ke dua ini memperoleh hasil yang berbeda. Pada proses simulasi sampel 2 kipas diletakkan dibawah rak dengan jumlah 2 buah. Input udara yang masuk terletak dibagian atap, sisi kanan, sisi kiri, dan sisi belakang. Proses udara panas masuk dari berbagai sisi kemudian udara tersebut keluar melalui 2 lubang kipas sehingga sebaran panas yang terdapat sampel ke 2 ini memperoleh sebaran panas yang lebih baik dari sampel 1. Adapun data suhu hasil simulasi sampel 2:

Tabel 4. 8. Data hasil simulasi sampel 2

No	Suhu(C)		
	Minimum	Maximum	Average
1.	44,8	55,3	49,8
2.	44,8	55,3	49,8
3.	44,8	55,3	49,8
4.	44,9	55,3	49,8

Terdapat 4 data yang dihasilkan. Data diatas merupakan data yang diperoleh dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Minimum suhu yang diperoleh sebesar 44,8°C, maximum suhu 55,3°C, dan rata-rata suhu yang diperoleh 49,8°C. Untuk

melihat seberapa baik kinerja pada sampel ini penulis menentukan 25 titik agar terlihat nilai rata-rata pada alat ini. Adapun standar deviasi yang diperoleh:



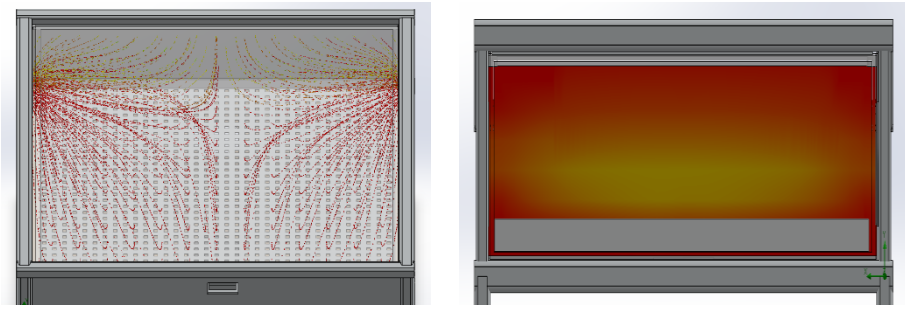
Gambar 4. 11. Penentuan titik sampel 2

Tabel 4. 9. Point parameter sampel 2

X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Temperature (Fluid) [°C]
500	110	-140	50,38688493
500	110	-294	54,358301
500	110	-884	47,48439094
500	110	-720	54,14223659
500	110	-527	50,82193501
880	110	-527	45,99890609
700	110	-527	51,6479572
280	110	-527	50,94879586
118	110	-527	45,89846801
118	110	-130	46,74607182
118	110	-300	46,41244797
284	110	-300	51,47073666
284	100	-130	50,64721244
284	100	-884	45,66989685
284	100	-714	49,18907545
130	100	-714	45,43681278
130	100	-880	45,05692676
884	100	-880	45,06743523
705	100	-880	45,85164234
705	100	-713	49,95944275
880	100	-713	45,41909948
880	100	-300	45,98736817
880	100	-151	46,19425038
700	100	-151	51,35803633
700	101	-300	51,34494181
Standar deviasi (STDEV)			2,98558785

Dari penentuan 25 titik memperoleh hasil standar deviasi 2,9. Dapat disimpulkan bahwa desain awal memiliki pengeringan yang optimal karena semakin rendah nilai standar deviasi nya maka semakin baik proses pengeringan pada alat.

4. Sampel 3



a b

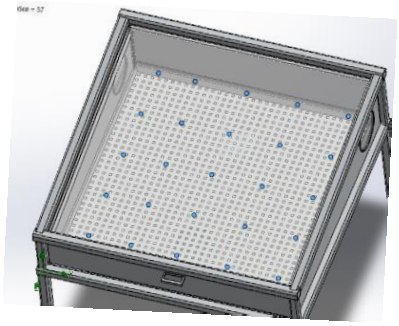
Gambar 4. 12. Simulasi sampel 3

Proses simulasi pada sampe ke 3 memperoleh hasil yang berbeda dari letak kipas buang yaitu dibagian sisi kanan dan kiri. Proses udara masuk dari berbagai sisi lalu dikeluarkan melalui lubang kipas dibagian sisi kanan dan kiri mmiliki perbedaan dari sampel 1 dan 2. Hal ini dipengaruhi dari tata letak kipas yang sebelumnya diletakkan dibawah rak namun sampel 3 diletakan dibagian sisi kanan dan kiri. Adapun data hasil simulasi yang diperoleh:

Tabel 4. 10. Data simulasi sampel 3

No	Suhu (C)		
	Minimum	Maximum	Average
1.	46,7	55,01	54
2.	46,7	55,01	54
3.	46,9	55	54
4.	46,7	55,01	54

Terdapat 4 data yang dihasilkan. Data diatas merupakan data yang diperoleh dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Minimum suhu yang diperoleh sebesar 46,7°C, maximum suhu 55,01°C, dan rata-rata suhu yang diperoleh 54°C. Untuk melihat seberapa baik alat ini bekerja dalam pengeringan kopi, maka penulis menentukan 25 titik untuk mencari nilai rata-rata pada alat ini. Adapun standar deviasi yang diperoleh:



Gambar 4. 13. Penentuan titik sampel 3

Tabel 4. 11. Point parameter sampel 3

X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Temperature (Fluid) [°C]
501	132,0783293	-498,2	54,99902104
320	132,078329	-498,2	54,99783016
154	132,078329	-498,2	54,99567058
154	132,078329	-300	54,99904477
154	132,078329	-100	55,00001943
320	132,078329	-100	55,0000429
320	132,078329	-300	54,99934378
500	132,078329	-300	54,99954842
500	132,078329	-100	55,00005814
700	132,078329	-100	55,00004629
900	132,078329	-100	55,00002851
900	132,078329	-300	54,99909939
700	132,078329	-300	54,9993893
700	132,078329	-497	54,99798196
900	132,078329	-497	54,99575602
900	132,078329	-700	54,9789694
900	132,078329	-900	48,04416068
700	132,078329	-900	47,01393456
700	132,078329	-700	54,99186974
500	132,078329	-700	54,98688228
500	132,078329	-900	46,59431466
500	132,078329	-900	46,59431466
297	132,078329	-900	47,10477566
297	132,078329	-900	47,10477566
313	132,078329	-700	54,99166686
313	132,078329	-700	54,99166686
153	132,078329	-700	54,98300426
153	132,078329	-900	47,6488553
Standar deviasi (STDEV)			3,402695139

Dari penentuan 25 titik pada sampel 3 memperoleh hasil standar deviasi 3,40°C. Nilai diperoleh dibawah 4,42°C yang artinya pada sampel ini proses pengeringan berjalan secara optimal.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat penulis simpulkan dari hasil dan pembahasan adalah sebagai berikut:

1. Rumah pengering kopi tipe mini memiliki ketinggian 1022 mm, tinggi bagian belakang 795 mm, tinggi bagian depan 695 mm, lebar 1019 mm dan panjang 1320 mm. Berat alat ini dari penentuan bahan dan material mencapai 33 Kg dengan harga modal Rp. 1.352.500. Kapasitas yang dapat ditampung alat ini sebesar 31,2 Kg dengan 8 tumpukan biji kopi pada rak pengering.
2. Alat ini memiliki bentuk rancangan persegi pada bagian rangka kaki dan rangka ruang pengering. Distribusi aliran udara panas yang baik diperoleh pada sampel 2 yang dengan nilai standar deviasi terkecil yaitu 2,93°C dari 3 sampel dan 1 desain awal alat.

5.2. Saran

Saran yang dapat penulis berikan selama tugas akhir berlangung adalah sebagai berikut:

1. Perlu penambahan jumlah layer pada rumah pengering kopi tipe mini.
2. Perlu dilakukan rancang bangun alat.

DAFTAR PUSTAKA

Andersson, M., Kusetogullari, A., & Wernberg, J. 2021. *S*oftware development and innovation: exploring the software shift in innovation in swedish firm. Technological Forecasting & Social Change International Journal, 167, 1-14.

Airlangga, D., Suryaningsih, L., Rachmawan O. 2016. Pengaruh metode pengeringan terhadap mutu fisik dendeng giling daging ayam broiler. E-Student Journal Fakultas Peternakan. Universitas Padjajaran.

[BPS] Badan Pusat Statistik (2021). Statistik Kopi Indonesia. https://www.bps.go.id/. [Diunduh] 3 Agustus 2022.

Daryl L. Logan. 2017. *A First Course in the Finite Element Method* (Sixth Edit). Cengage Learning

Djaeni, M. 2008. Energy efficient multistage zeolite drying for heat sensitive products. Doctoral Thesis: Wageningen University

Fellows, P. 2000. *Food Processing Technology Principles and Practice 2nd ed*. USA : CRC Press LLC.

Harrizal, I. S., Syafri, & Prayitno, A. 2017. Rancang bangun sistem kontrol mesin cnc milling 3 axis menggunakan close loop system. JOM FTEKNIK, IV(2), 1-8.

Hamni, A., Gusri, A., Suryadiwansa, Yanuar, B.,dan Tarkono. 2013. Potensi pengembangan teknologi proses produksi kopi lampung. Jurnal Mechanical 4(1), 45-51.

Hendra, Z. 2016. Perhitungan kebutuhan pemakaian daya pada proses pengeringan kopi (robusta) menggunakan alat pengering berbasis mikrokontroler atmega 328. Skripsi: Politeknik Negeri Padang.

Indraswara, A. Y., Anugraha, R. A., & Nugroho, Y. 2015. Perancangan *e-learning solidworks* modul *part assembly* menggunakan *model addie* sebagai media pembelajaran gambar teknik yang efektif. Jurnal Rekayasa Sistem & Industri, II(2), 53-58.

Kudra,T.; Mujumdar, A.S. 2002. *Advanced Drying Technology*. USA. Marcel Dekker New York.

Rahardjo, P. 2012. *Paduan Budidaya dan Pengolahan Kopi*. Jakarta: Penebar Swadaya Grup.

Mahapatra, A.K. and C.N. Nguyen. 2009. *Drying Of Medical Plant. ISHS Acta Holticulturae 756*. Internasional Symposium on Medical and Neutraceutical Plants.

Manalu, M. Husein. 2017. Analisis thermal dan redesain alat pengering kakao menggunakan computational fluid dynamics (CFD) di usaha mandiri desa wiyono kabupaten pesawaran. Skripsi: Universitas Lampung.

Mc.Cabe, Warren L. 2002. *Unit Operation of Chemical Engineering.* Edition 4th.Mc. Singapore: Grow Hill International Book Co.

Mulyadi. 2018. *Buku Ajar CAD/CAM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing).* Sidoarjo: Umsida Press

Prabowo, S. Agung. 2009. *Easy to Use: SolidWorks 2009*. Yogyakarta.

Pranajaya, A., Widodo, L., & Sukania, I. W. 2014. *Perancangan Panggung Penuangan yang Ergonomis untuk Mengurangi Waste Pada Proses Mixing dan Perancangan Wadah Bahan Baku pada PT. Elastis Reka Aktif. Sinergi*, 18(3), 15-164.

Rumbayan, M., & Narasiang, B. 2021. *Monitoring dan Controller Alat Pengering Ikan tenaga Surya Berbasis IoT*. -. https://repo.unsrat.ac.id/3330/.

Setyoadi, Y., & Latifah, K. 2015. *Integrasi Software CAD-CAM dalam Sistem Operasi Mesin Bubut CNC.* Jurnal Informatika Upgris, I(2), 149-159.

Singh, A., Sahni, D., & Dubey, A. 2016. *Experimental study of thermal effect of drying, heating, blowing machine with different stage.* International Journal of Research Granthaalayah, *4*, 104–109. https://doi.org/10.5281/zenodo.61174.

Sugeng Winarto. 2015. *Pengaruh Suhu Dari Bottom Plate Terhadap Produk Printer 3D*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Sutabri, T. 2012. *Sistem Informasi Manajemen*. Yogyakarta: Andi.

Tuakia, Firman. 2008. Dasar-dasar CFD menggunakan fluent. Informatika, Bandung, 2442-2576.

Wirakartakusumah, M. A., Subarna, M. Arpah, D. Syah, dan S. I. Budiawati. 1992. *Peralatan dan unit proses industri pangan*. DEPDIKBUD, Dirjen Dikti, PAU, IPB, Bogor.

Yohanes, A. 2015. *Perancangan Alat Pengepresan Jenang Dengan Metode Anthropometri Dan Ergonomi (Studi Kasus di UKM Agape Pemalang).* Dinamika Teknik, 9(2), 1-7.

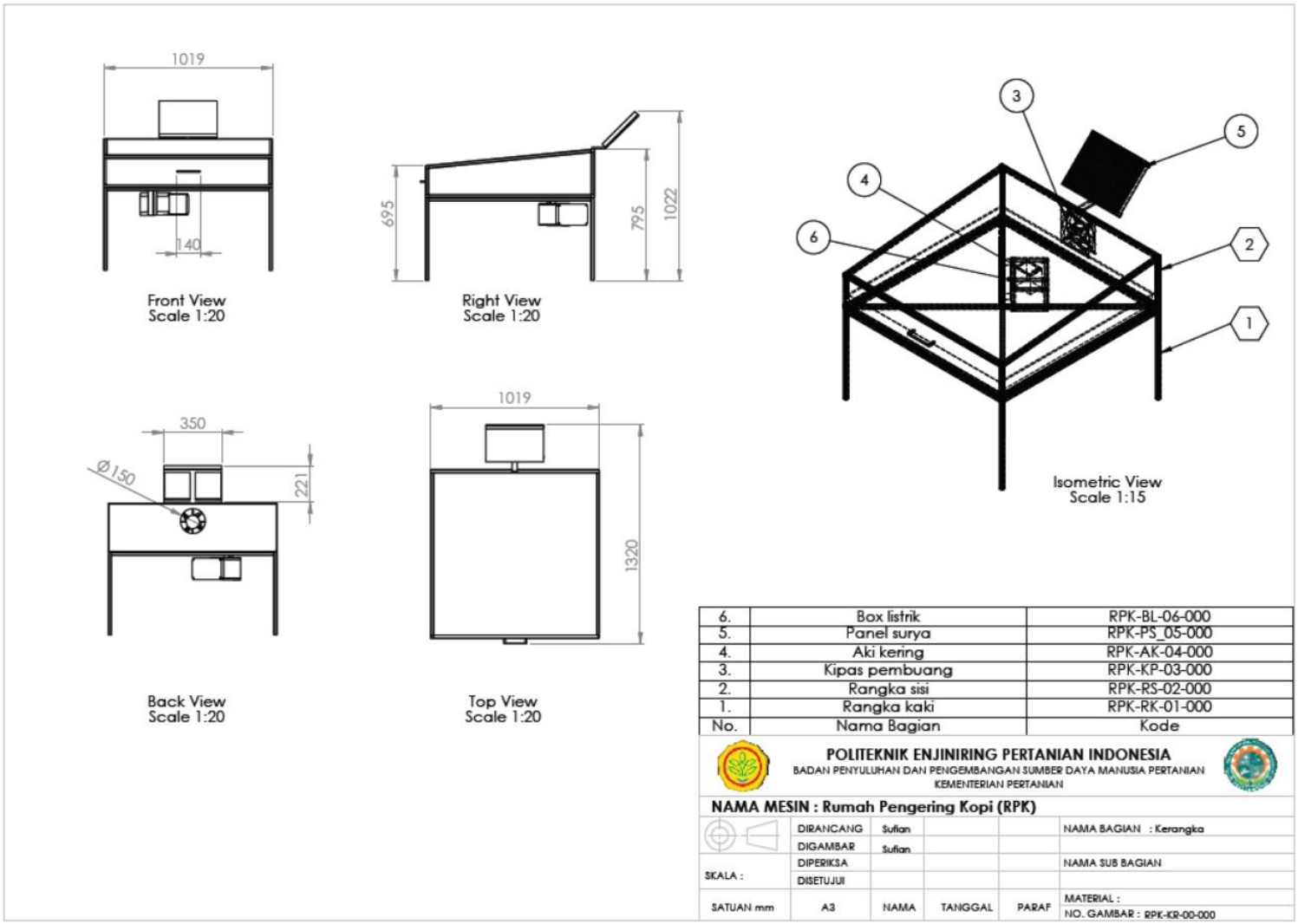
Zamharir. Sukmawaty. Priyati, Asih. 2016. *Analisis Pemanfaatan Energi Panas pada Pengeringan Bawang Merah (Allium Ascalonicum L.) dengan menggunakan Alat Pengering Efek Rumah Kaca (ERK)*. Teknik Pertanian Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri. Universitas Mataram. Mataram (hal. 2).

Lampiran 1. Jadwal Palang Tugas Akhir

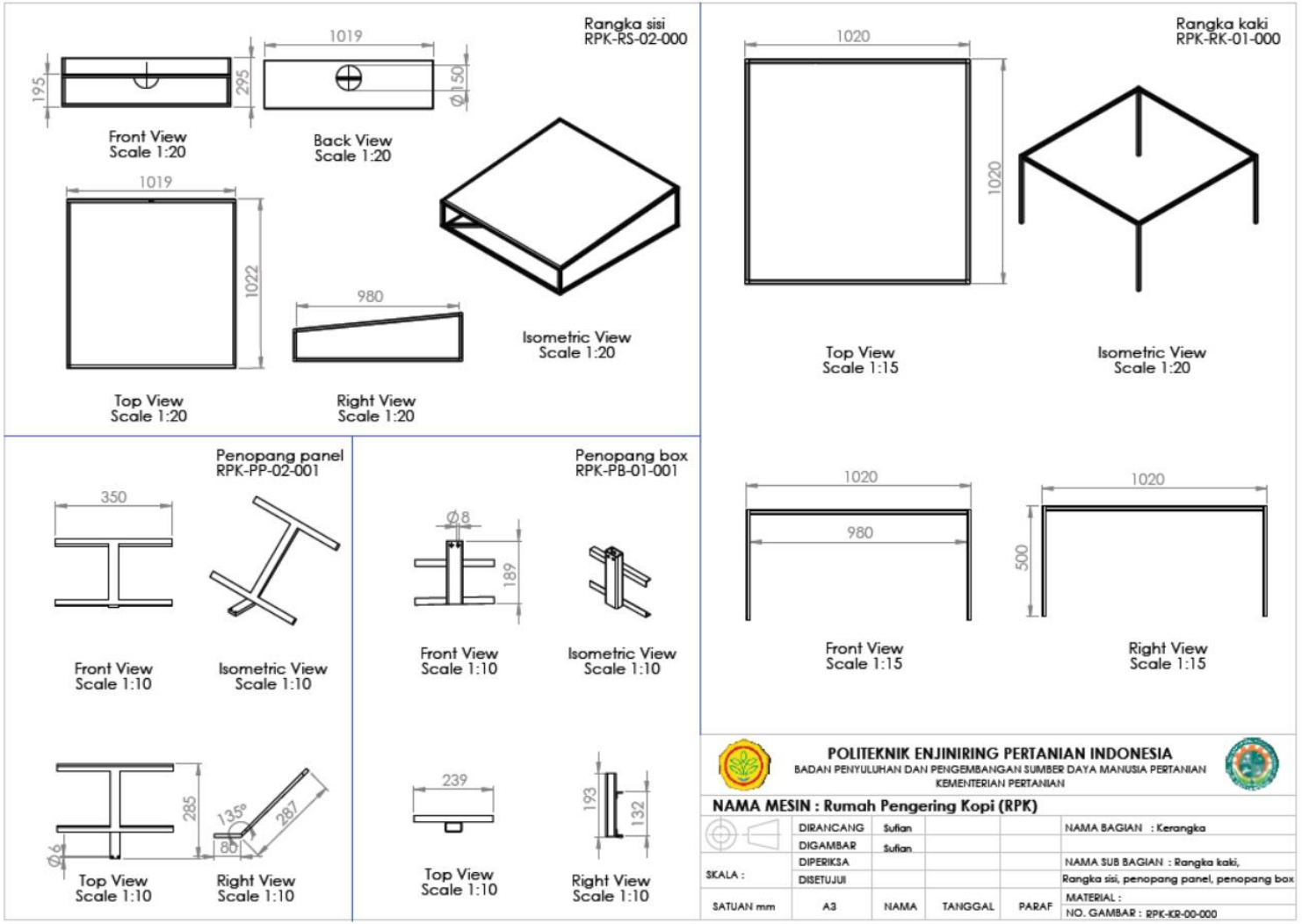
LAMPIRAN

No	Kegiatan	Waktu																																				
		Juni 2022																									Juli 2022												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Pembuatan Proposal																																					
2	Seminar Proposal																																					
3	Pembuatan Gambar Kasar (*Sketching*)																																					
4	Melakukan Desain (*drawing*)																																					
5	Melakukan Penggabungan (*assembly*)																																					
6	Membuat Dimensi (*layout*)																																					
7	Penyusunan Laporan Tugas Akhir																																					
8	Konsultasi Dosen Pembimbing 1																																					
9	Konsultasi Dosen Pembimbing 2																																					

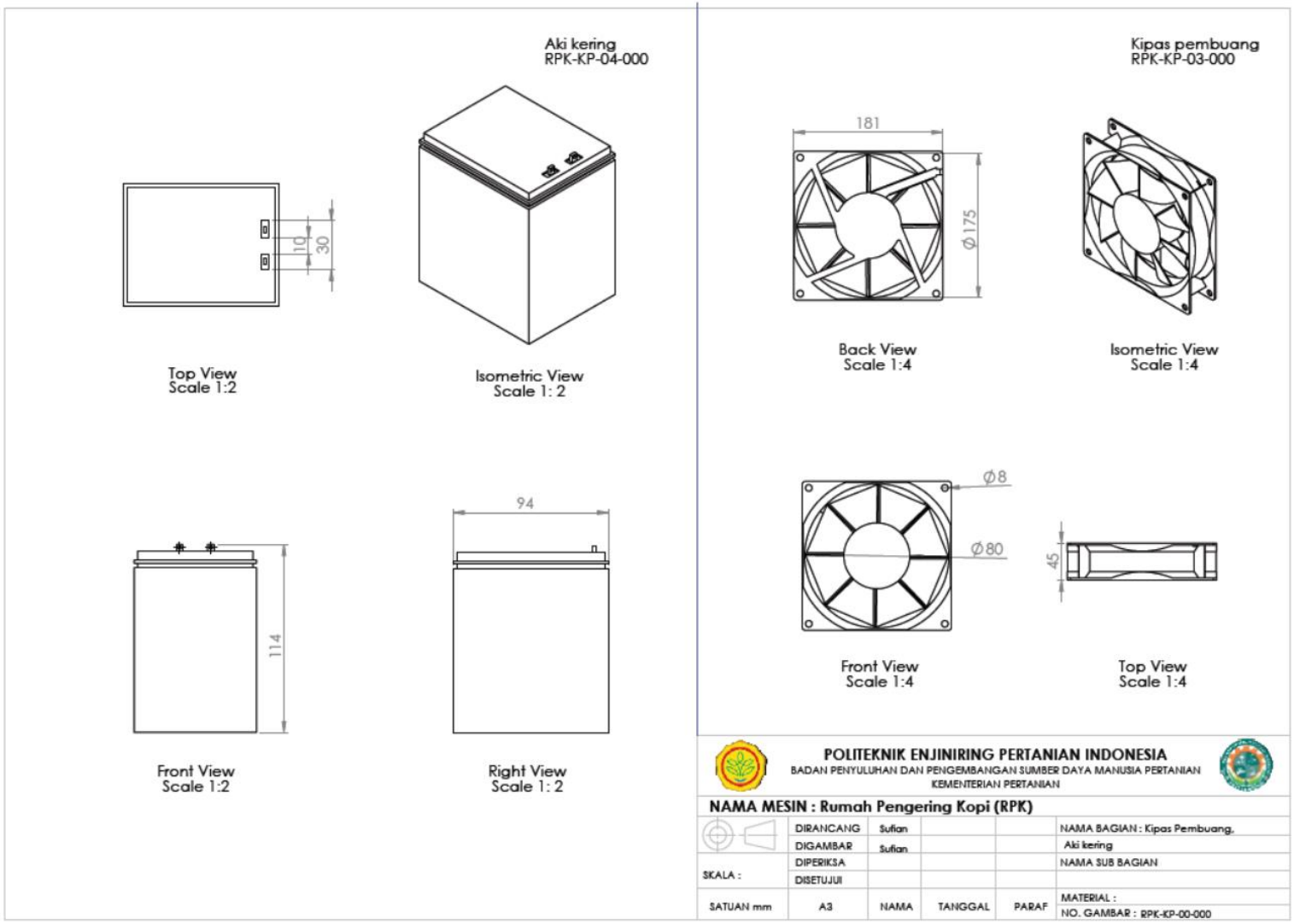
Lampiran 2. *Layout* Pengering Biji Kopi



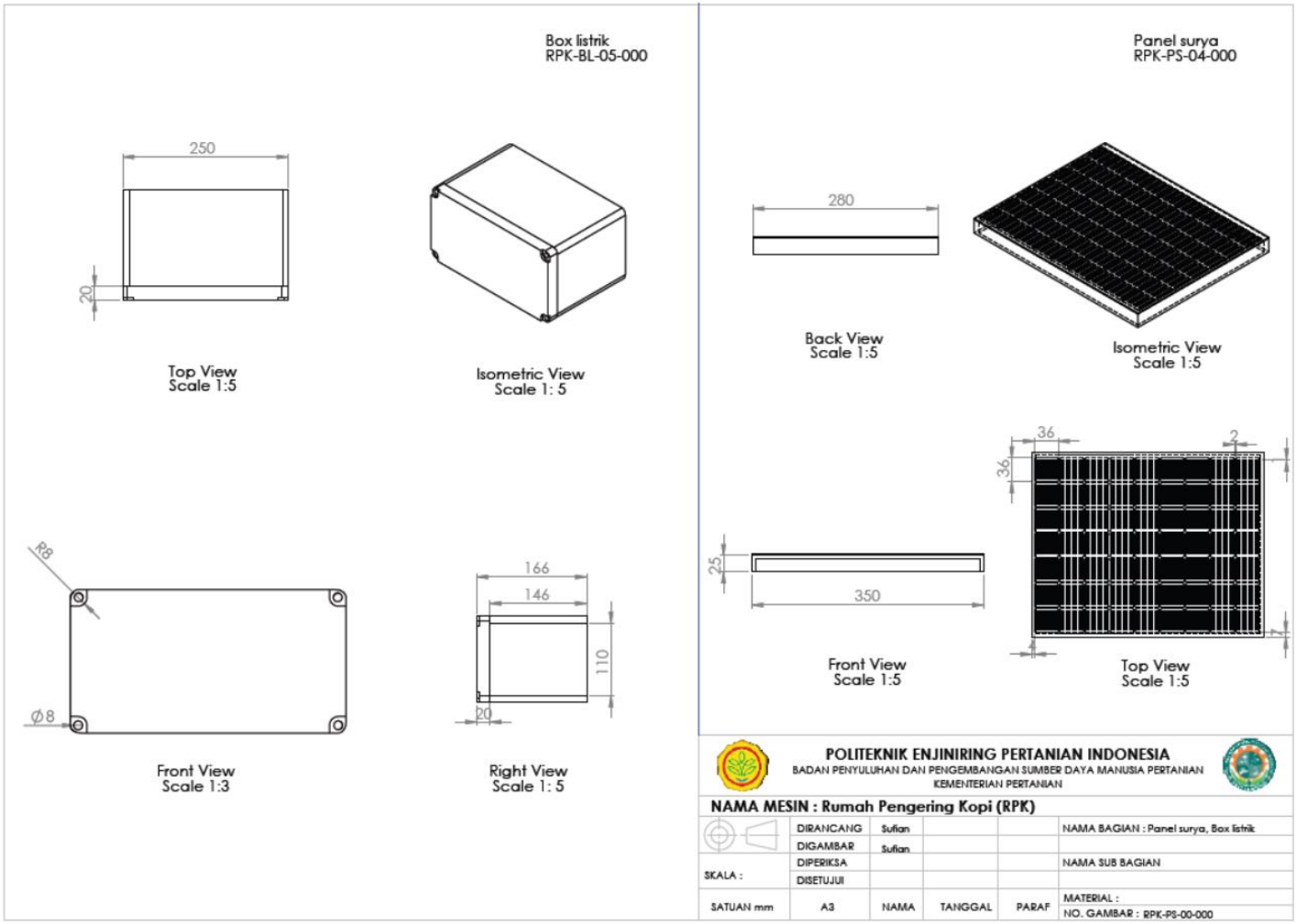
Lampiran 3. *Layout* Kerangka



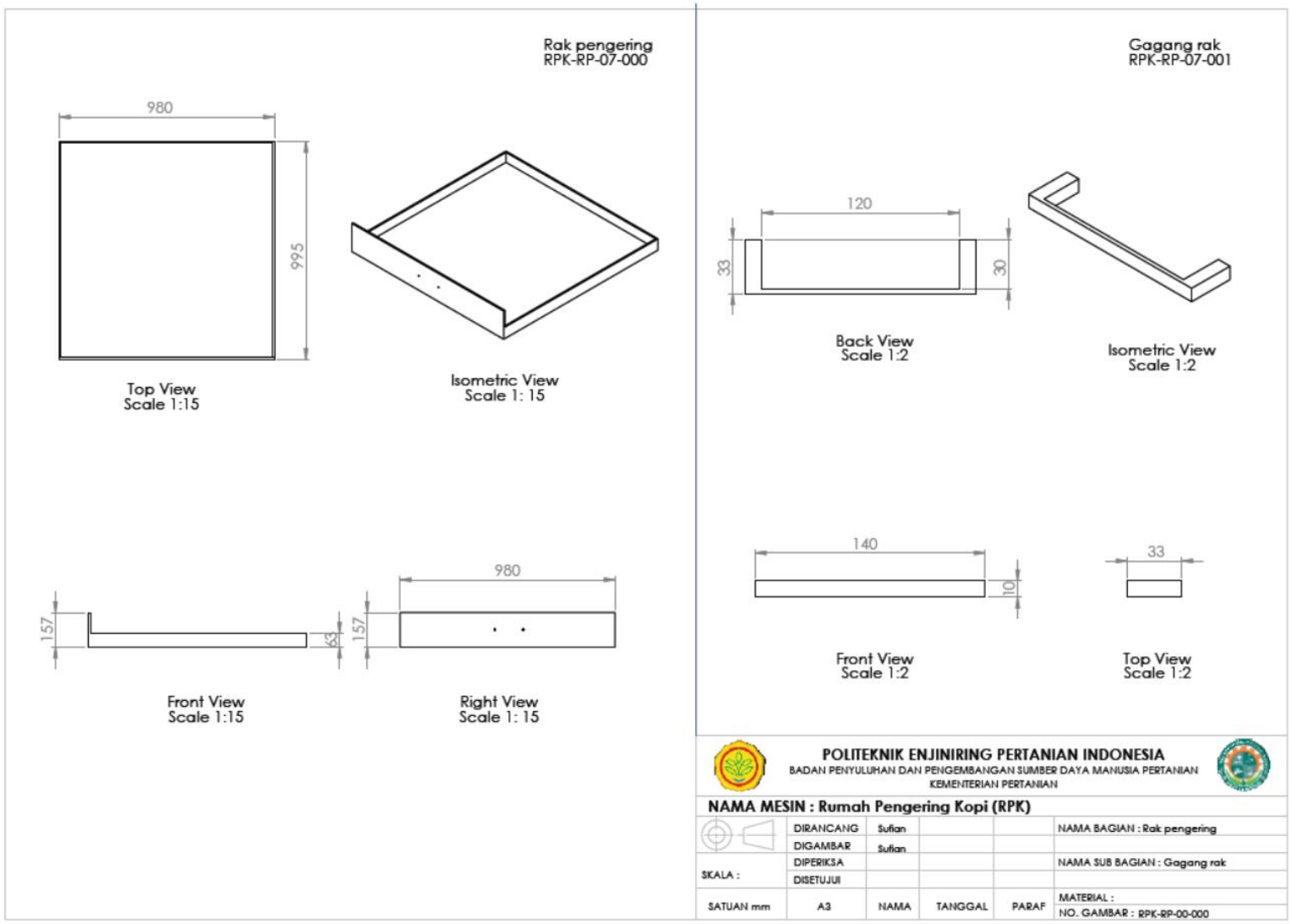
Lampiran 4. *Layout* Kipas dan Aki



Lampiran 5. *Layout* Box dan Panel Surya

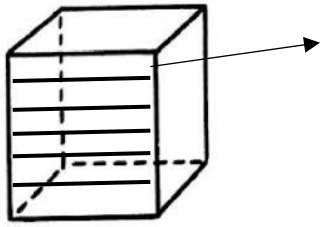


Lampiran 6. *Layout* Rak Pengering



Lampiran 7. Perhitungan Kapasitas Biji Kopi dan Daya Aki

1. Perhitungan Tumpukan Kopi dalam 1 Liter



Keterangan : p = 10 cm
: l = 10 cm
: t = 10 cm

Diketahui : 10 cm = 1 dm
: 1 dm x 1d m x 1 dm = 1 dm^3
Diameter kopi : 7 mm = 0,7 cm
Panjang layer : 10 cm
Ditanya : Tumpukan kopi pada layer?
Jawab : $\frac{\text{panjang layer}}{\text{diameter kopi}} = \frac{10}{0{,}7} = 14$ tumpukan kopi

2. Perhitungan Berat Jenis Kopi dalam 1 liter

Kerang tiram	800 kg/m3
Kerikil basah	2002 kg/m3
Kertas standar	1201 kg/m3
Kopi biji segar	561 kg/m3
Kuarsa padat	2643 kg/m3
Kuningan	8400 – 8700 kg/m3

Gambar 4. 14. Berat jenis kopi (sumber: kumpulanilmupengetahuan.blogspot.com)

bj : $\frac{561\ \text{Kg}}{\text{m}^3}$ x $\frac{\text{m}^3}{1000\ \text{dm}^3}$

: $\frac{561\ \text{Kg}}{1000\ \text{dm}^3}$

: $\frac{0{,}561\ \text{Kg}}{\text{lt}}$

3. Perhitungan Berat Biji Kopi dalam Luasan 100cm^2

Diket : Berat jenis kopi = 0,561 Kg/liter

Tumpukan kopi = 14

Ditanya : Berat biji kopi dalam 100 cm^2?

Jawab : $\frac{\text{berat jenis}}{\text{tumpukan kopi}}$

: $\frac{0{,}561 \text{ kg/liter}}{14}$

: 0,04 Kg = 40 gr

: $\frac{40 \text{ gr}}{100 \text{ cm}^2}$

4. Perhitungan Luas Rak Pengering

Diket : Panjang rak = 99,5 cm

Lebar rak = 98 cm

Ditanya : Luas?

Jawab : L = p x l

: 99,5 cm x 98 cm

: 9751 cm^2

5. Perhitungan Berat Biji Kopi pada 1 layer Rak Pengering

Diket : Luas rak pengering = 9751 cm^2

Berat biji kopi dalam luasan 100 cm^2 = 40 gr/100 cm^2

Ditanya : Berat kopi pada 1 layer?

Jawab : 9751 cm^2 x 40 gr/100 cm^2

: 97,51 x 40 gr

: 3900 gr

: 3,9 Kg

6. Perhitungan kapasitas biji kopi pada rak pengering

Tinggi rak : 6 cm

Diameter kopi : 0,7 cm

$$\frac{\text{tinggi rak}}{\text{biji kopi}} = \frac{6\text{ cm}}{0{,}7\text{ cm}} = 8 \text{ tumpukan biji kopi}$$

Diket : Tumpukan biji kopi pada tinggi rak 6 cm = 8 tumpukan biji kopi

Berat biji kopi dalam satu layer = 3,9 Kg

Ditanya : Berat biji kopi total dalam satu rak pengering?

Jawab : 8 x 3,9 Kg

: 31,2 Kg/proses selama 3 hari

7. Perhitungan Daya Aki ke Beban

Kapasitas Aki 12V 7Ah = 12 x 7 = 84 Wh (daya full baterai)

Daya panel yang digunakan sebesar 10 Wp

Daya beban 1 kipas = 2 Watt

Menghitung daya maksimal alat menyala jika baterai full:

$$\frac{\text{kapasitas baterai}}{\text{daya beban}} = \frac{84}{2} = 42 \text{ jam/ 1 hari 18jam}$$