

Perancangan Rumah Pengering Biji Kopi Menggunakan Plastik Ultra Violet (UV Solar Dryer) Dengan Mekanisme Konveksi Alamiah

Thomas J. Hudin¹, Verdy A. Koehuan¹ dan Nurhayati¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana

Jl. Adi Sucipto, Penfui-Kupang, NTT 85001, Tlp: (0380)881597

E-mail: verdy.koehuan@staf.undana.ac.id

ABSTRAK

Dewasa ini cukup banyak dikembangkan pengering mekanis tipe (ERK) yang menggunakan plastik ultra violet (*Uv Solar Dryer*) untuk menggantikan metode penjemuran langsung bilamana cuaca tidak mendukung. *UV Solar Dryer* atau biasa disebut juga metode pengeringan dengan menggunakan efek rumah kaca merupakan metode pengeringan yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi panas utama untuk melakukan pengeringan. Masalah yang akan difokuskan pada penelitian ini adalah membuat rancangan rumah pengering tipe (ERK) menggunakan plastik ultra violet dengan mekanisme konveksi alamiah yang menghasilkan nilai efisiensi pengeringan biji kopi berkisar antara 5-10%/jam. Berdasarkan asumsi tingkat kadar air awal biji kopi sebelum dikeringkan sebesar 60% dan setelah melewati proses pengeringan selama 16 jam, dimana per harinya pengeringan dilakukan selama 4 jam dimulai pada pukul 11.00 dan berakhir pada pukul 15.00. Tingkat kadar air akhir biji kopi yang diperoleh berkisar antara 11-12%. Laju pengeringan yang diperoleh sebesar 3,06% bk/jam (tingkat kadar air yang diuapkan selama satu jam pengeringan) dimana untuk setiap variasi kecepatan udara tingkat kadar air yang diuapkan sama. Efisiensi pengeringan tertinggi yang diperoleh pada penelitian ini berdasarkan setiap variasi kecepatan udara dengan massa awal bahan 45,60 kg yaitu pada kecepatan udara 0,1 m/s sebesar 10,96%/jam terjadi pada pukul 14.00, pada kecepatan udara 0,2 m/s sebesar 11,53%/jam terjadi pada pukul 14.00 dan pada kecepatan udara 0,3 m/s sebesar 11,91%/jam terjadi pada pukul 14.00.

ABSTRACT

Now a days there are quite a lot of developed mechanical dryers (ERK) that use ultra violet plastic (Uv Solar Dryer) to replace the direct drying method when the weather is not supportive. UV Solar Dryer or also known as drying method using the greenhouse effect is a drying method that utilizes solar energy as the main source of heat energy for drying. The problem that will be focused in this research is to design a type of drying house (ERK) using ultra violet plastic with a natural convection mechanism which results in drying efficiency values of coffee beans ranging from 5-10%/hour. Based on the assumption that the initial moisture content of the coffee beans before drying is 60% and after going through the drying process for 16 hours, where per day the drying is carried out for 4 hours starting at 11.00 and ending at 15.00. The final moisture content of coffee beans obtained ranged from 11-12%. The drying rate obtained is 3.06% bk/hour (the level of water content evaporated for one hour of drying) where for each variation of air velocity the level of water content evaporated is the same. The highest drying efficiency obtained in this research is based on each variation of air velocity with an initial mass of 45.60 kg of material, namely at an air velocity of 0.1 m/s of 10.96%/hour occurred at 14.00, at an air velocity of 0.2 m/s at 11.53%/hour occurred at 14.00 and at air velocity of 0.3 m/s at 11.91%/hour occurred at 14.00.

Keywords: UV Solar Dryer, natural convection, drying rate, air velocity variation, drying efficiency

PENDAHULUAN

Pengeringan adalah usaha pembuangan atau penurunan kadar air suatu bahan untuk memperoleh tingkat kadar air yang seimbang dengan kelembaban nisbi udara atmosfer.

Dalam hal ini proses pengeringan merupakan bagian yang cukup penting dalam penanganan komoditi hasil pertanian dan perkebunan. Pengeringan bertujuan untuk mengawetkan bahan, menjadikannya lebih luwes dan lebih mudah diangkut untuk diolah ke proses selanjutnya [1]. Pengembangan alat pengering

untuk produk hasil pertanian telah mengalami kemajuan yang pesat. Berbagai macam tipe dan bentuk alat pengering telah dikembangkan para peneliti untuk mengatasi masalah-masalah yang kerap ditemui atau terjadi pada saat proses mengeringkan produk hasil pertanian. Kriteria alat pengering yang bagus dapat dilihat dari tingkat keseragaman kadar air bahan yang dihasilkan, efisiensi penggunaan energi, dan biaya pembuatan dan pengoperasian alat yang rendah. Pengembangan teknologi pengeringan yang memanfaatkan energi surya merupakan terobosan dalam mengatasi mahalnya biaya proses pengeringan [2]. Nusa Tenggara Timur sangat cocok untuk penggunaan alat pengering tipe (ERK), karena jika dilihat secara geografis mempunyai potensi energi surya yang cukup besar disepanjang tahunnya. Sebagaimana analisis yang dilakukan oleh BMKG, Provinsi NTT memiliki potensi energi matahari yang tinggi antara 5-8 kWh/m². Nilai diatas melebihi rata-rata wilayah Indonesia yang umumnya berkisar antara 4-5 kWh/m². Nilai potensi energi dari matahari ini didapat menggunakan persamaan modifikasi Angstrong dimana pengambilan data lama penyinaran matahari (LPM) dan kelembaban merupakan data pengamatan langsung dari seluruh stasiun BMKG di Provinsi NTT [3].

Kopi merupakan komoditas sektor perkebunan yang cukup strategis, komoditas kopi telah memberikan kontribusi untuk menopang perekonomian serta menjadi sumber devisa bagi daerah dan berperan penting bagi perkembangan perekonomian pada daerah penghasilnya. Menurut sumber yang didapat dari (Direktorat Jenderal Perkebunan Indonesia) luas areal perkebunan kopi di Daerah NTT sendiri pada tahun 2015 adalah 65.718 hektar sedangkan pada tahun 2019 adalah 64.800 hektar [4]. Biji kopi hasil panen umumnya mempunyai kadar air yang cukup tinggi yang berkisar antara 50-60% (wb), berdasarkan syarat mutu umum yang terdapat pada SNI biji kopi 01-2907-2008 [5]. Tingkat kadar air standar pada biji kopi kering yakni maksimal sekitar 11-12,5% (wb) nilai tingkat kadar ini diperhitungkan agar biji kopi

dapat diolah lebih lanjut dan disimpan dalam waktu yang lama. Buah kopi hasil panen, seperti halnya produk pertanian lainnya, perlu segera diolah menjadi bentuk akhir yang stabil agar aman disimpan dalam jangka waktu tertentu. Kriteria mutu pada biji kopi meliputi aspek fisik, citarasa dan kebersihan serta aspek keseragaman dan konsistensi yang sangat ditentukan oleh perlakuan pada setiap tahapan proses produksinya. Dalam hal ini, penangan dan pengolahan pascapanen menjadi faktor penting yang harus diperhatikan.

Pada observasi awal yang dilakukan menunjukkan bahwa hampir sebagian sebagian besar petani biji kopi khususnya di Daerah NTT masih menggunakan metode pengeringan konvensional atau yang umumnya langsung menjemur biji kopi dibawah sinar matahari. Walaupun memiliki biaya yang murah metode ini memiliki kelemahan dikarenakan sangat bergantung pada energi panas matahari sebagai sebagai sumber energi panas utama untuk mengeringkan biji kopi lamanya penyinaran matahari menjadi faktor penting dalam proses pengeringan. Pada dasarnya intensitas panas matahari sangat berpengaruh terhadap perubahan cuaca, dimana pengeringan akan terganggu bilamana penyinaran matahari tidak optimal dikarenakan cuaca yang berubah-ubah. Biasanya pada musim panas lama pengeringan biji kopi memakan waktu hingga 5-7 hari, sedangkan pada musim hujan lama pengeringan 1-2 minggu bahkan lebih lama lagi

Dewasa ini cukup banyak dikembangkan alat pengering mekanis tipe (ERK) yang menggunakan plastik ultra violet sebagai cover (*Uv Solar Dryer*) untuk menggantikan metode penjemuran langsung bilamana cuaca tidak mendukung. *UV Solar Dryer* atau biasa disebut metode pengeringan dengan menggunakan efek rumah kaca (ERK) merupakan metode pengeringan yang memanfaatkan energi surya sebagai sumber energi utama, dimana radiasi dari sinar matahari diserap langsung oleh plastik ultra violet yang berfungsi sebagai penghantar dan penahan panas sehingga temperatur didalam

suatu tempat atau ruangan yang ditutupi oleh plastik ultra violet ini tetap terjaga. Secara garis besar keunggulan dari rancangan alat pengering tipe (ERK) yang akan didesain sama dengan alat pengering tipe (ERK) lainnya yang sudah ada sebelumnya tetapi perbedaannya lebih terletak pada proses pengeringan dimana dalam pengerjaannya menggunakan prinsip mekanisme konveksi alamiah yang berarti perpindahan panas secara konveksi yang terjadi didalam ruang pengering hanya disebabkan oleh beda suhu dan rapat tanpa ada tenaga dari luar yang mendorongnya. Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan merancang sebuah alat pengering tipe (ERK) menggunakan plastik ultra violet yang efisien dan efektif, yang akan mempermudah pekerjaan para petani kopi pada fase penanganan kopi pasca panen khususnya dalam proses pengeringan biji kopi. Diharapkan alat ini mampu meningkatkan efisiensi pengeringan pada biji kopi sehingga dapat mempersingkat waktu pengeringan serta untuk menghasilkan biji kopi dengan kualitas yang baik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan kegiatan yang dilakukan dengan menerapkan metode dan ide dasar perancangan yang didasarkan pada rancangan alat pengering tipe efek rumah kaca (ERK) yang sudah ada dengan tambahan modifikasi pada bagian-bagian tertentu sesuai dengan kebutuhan untuk pengeringan kopi. Untuk menentukan performansi sebuah alat pengeringan, ada beberapa parameter yang harus diukur selama proses pengeringan, yaitu suhu ruang pengering dan sebarannya, kecepatan udara didalam pengering, laju pengeringan, kapasitas dan lama pengeringan, serta efisiensi penggunaan energy.

Variabel penelitian

Variabel penelitian dan desain rumah pengering.

- 1) Variabel bebas (*independent variable*),
 - Penentuan waktu total yang dibutuhkan alat pengering untuk mengeringkan biji kopi selama 4 hari (16 jam) dimana perharinya pengeringan akan dilakukan selama 4 jam yang dimulai dari pukul 11:00 dan berakhir pada pukul 15:00.
 - Jumlah intensitas radiasi matahari yang masuk kedalam pengering pada pukul 11:00-15:00 WITA.
 - Memperhitungkan kecepatan aliran udara yang bergerak di dalam pengering jika diasumsikan besar kecepatan aliran udara yang bergerak di dalam pengering sama dengan besar kecepatan aliran udara yang bergerak di luar pengering yaitu 0,1 m/s, 0,2 m/s dan 0,3 m/s.
 - Tingkat kadar air awal dan akhir biji kopi menurut SNI yaitu sebelum dikeringkan berkisar antara 50- 60% dan tingkat kadar akhir biji kopi sesudah melewati proses pengeringan berkisar antara 11-12%. Agar biji kopi bisa diolah ke proses selanjutnya.
- 2) Variabel terikat (*dependent variable*),

Adapun variabel terikat pada penelitian ini adalah perhitungan distribusi temperatur di dalam rumah pengering yang terjadi selama pengeringan, perhitungan tingkat kelembaban udara di dalam rumah pengering, jumlah kadar air biji kopi yang diuapkan selama pengeringan berlangsung dan besar nilai laju pengeringan selama satu jam pengeringan dilakukan.
- 3) Variabel terkontrol (*controlled variable*)
 - Spesifikasi dan dimensi rumah pengering seperti volume ruangan dan total luas permukaan rumah pengering.
 - Luasan permukaan plastik ultra violet sebagai penutup atau cover pada dinding dan atap rumah pengering.
 - Luasan rak pengering sebagai tempat diletakkannya biji kopi untuk dikeringkan.

Desain rumah pengering kopi

Spesifikasi dimensi ruang atau rumah pengering yang akan dirancang direncanakan seperti pada Gambar 1 hingga Gambar 9 berbentuk persegi dengan ukuran panjang 550

cm, lebar 290 cm dan tinggi 240 cm. Dibagian depan dan belakang pengering juga dipasang saluran udara. Dengan masing-masing ukuran saluran udara, untuk bagian depan pengering terdapat dua saluran udara berbentuk lingkaran dengan diameter 20 cm dan bagian belakang pengering berbentuk persegi panjang dengan ukuran panjang 40 cm dan lebar 10 cm, selisih masing-masing saluran udara yaitu 22,05 cm (ditempatkan di bagian bawah pengering). Sementara rancangan rumah pengering tipe (ERK) terdiri atas lantai beton, rangka dan plastik transparan. Lantai cor beton berfungsi untuk mencegah terjadinya kehilangan panas direncanakan setebal 10 cm, rangka bangunan terbuat dari baja ringan yang berfungsi untuk menahan beban plastik transparan yang akan dipasang sebagai cover penutup alat pengering dengan variasi ketebalan baja ringan sekitar 0,45-1,00 mm, plastik transparan yang dipakai adalah plastik ultra violet (UV) dengan spesifikasi tebal 0,02 mm, transmisi cahaya 85% dan absorpsi 15%.

Prosedur penelitian

Pada penelitian ini diharapkan desain atau rancangan alat pengering tipe (ERK) yang telah dibuat dapat bekerja secara optimal khususnya untuk pengeringan-pengeringan bahan hasil pertanian yang membutuhkan waktu operasi pengeringan yang cukup lama seperti biji kopi. Dengan menggunakan plastik ultra violet sebagai cover atau selubung transparan. Dimana radiasi dari sinar matahari diserap langsung oleh plastik ultra violet yang berfungsi sebagai penghantar dan menahan panas sehingga temperatur didalam alat pengering yang ditutupi oleh plastik ultra violet ini tetap terjaga. Jadi pada saat kondisi cuaca sedang mendung ataupun hujan proses pengeringan yang ada didalamnya tetap berlangsung. Selain itu karena metode ini juga memanfaatkan efek rumah kaca untuk meningkatkan temperatur, maka yang terjadi adalah proses pengeringan menjadi lebih cepat.

Dalam hal ini penelitian berfokus pada pengeringan biji kopi dengan asumsi bahwa mula-mula tingkat kadar air awal biji kopi

sebelum dilakukan pengeringan mempunyai nilai sebesar 60% (bb) dan tingkat kadar air akhir biji kopi sesudah dilakukan proses pengeringan mempunyai nilai sebesar 11% (bk). Pengeringan pada biji kopi ini ditentukan membutuhkan waktu pengeringan selama enam belas jam dimana per harinya pengeringan dilakukan selama empat jam dimulai pada pukul 11.00 dan berakhir pada pukul 12.00.

Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti prosedur sebagai berikut :

- Mengumpulkan dan menyiapkan data awal perancangan baik dari referensi yang ada maupun dari lapangan yang terkait dengan penelitian yang dilakukan.
- Membuat desain awal rancangan rumah pengering kopi menggunakan plastik ultra violet (UVsolar dryer) dengan mekanisme konveksi alamiah.
- Memperhitungkan analisis hasil rancangan alat pengering yang dilakukan dalam beberapa tahapan yaitu menentukan dan mengasumsikan parameter awal rancangan untuk menghitung jumlah energi yang dibutuhkan, perhitungan perpindahan panas pada alat pengering yang terjadi selama proses pengeringan dan analisis pada perhitungan energi yang akan dibutuhkan selama proses pengeringan berlangsung.
- Membuat desain akhir rancangan rumah pengering kopi menggunakan plastik ultra violet (UVsolar dryer) dengan mekanisme konveksi alamiah, khususnya untuk pengeringan biji kopi.

Kadar air bahan menunjukkan banyaknya kandungan air per satuan bobot bahan. Metode pengukuran kadar air bahan ada dua yaitu kadar air basis basah (*wet basis*) dan kadar air basis kering (*dry basis*) [6]. Kadar air basis basah adalah perbandingan antara berat air dalam bahan pangan dengan berat bahan total. Kadar air basis kering adalah perbandingan berat air dalam bahan dengan berat keringnya (padatan). Persamaan dalam penentuan kadar air yaitu:

$$m = \frac{W_m}{W_d + W_m} \times 100\% \quad 1)$$

$$M = \frac{Wm}{Wd} \times 100\% \quad 2)$$

Dimana m = kadar air basis basah (%), M = kadar air basis kering (%), Wm = berat air (kg) dan Wd = berat bahan kering (kg).

Laju pengeringan adalah banyaknya air yang diuapkan persatuan waktu atau perubahan kadar air bahan dalam satu satuan waktu. Data yang diperlukan adalah bobot dan kadar air awal produk sebelum dikeringkan, bobot dan kadar air akhir produk yang telah dikeringkan, kadar air bahan selama proses pengeringan dan waktu pengeringan. Selain itu juga dilakukan pengukuran terhadap faktor-faktor yang mempengaruhi laju pengeringan meliputi kecepatan udara pengering, dan kelembaban udara (RH). Laju pengeringan dapat diketahui dari persamaan berikut:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{w_1 - w_2}{t} \quad (1)$$

Efisiensi pengeringan yaitu perbandingan antara energi yang masuk dalam sistem yang digunakan untuk memanaskan udara pengering.

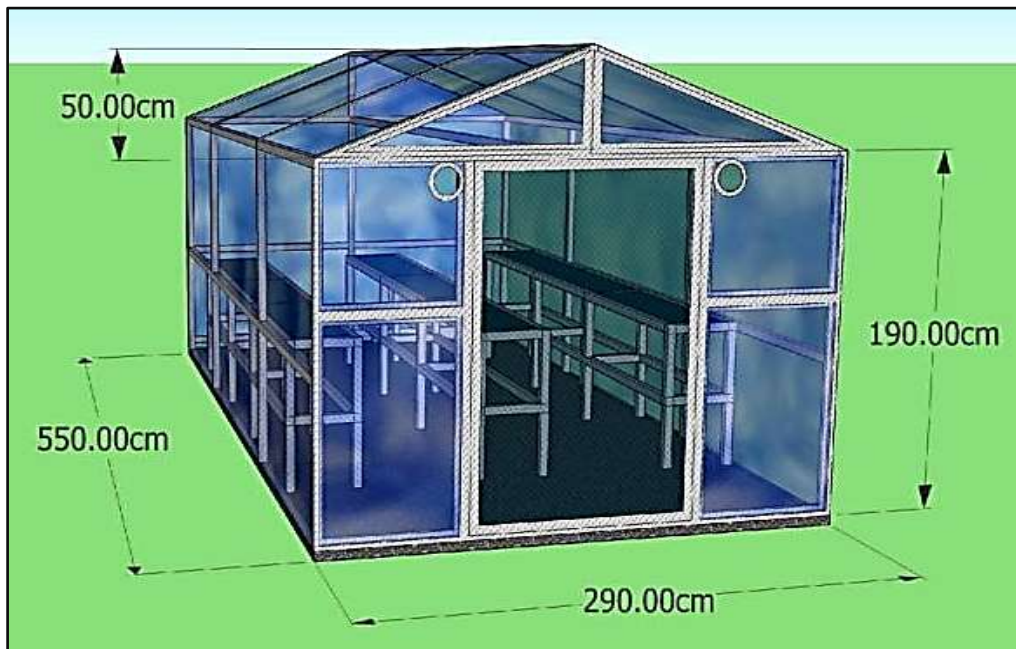
$$\eta_p = \frac{Q_{sp} + Q_{Uap}}{Q_{Ts} - Q_{Loss}} \times 100\% \quad (2)$$

Dimana η_p = efisiensi pengeringan (%), Q_{sp} = panas yang digunakan untuk menaikkan temperatur bahan (kJ), Q_{Uap} = panas yang digunakan untuk menguapkan air bahan (kJ), Q_{Ts} = energi total sistem (kJ) dan Q_{Loss} = total panas yang hilang pada saat pengeringan (kJ).

Parameter lain berupa konsumsi energi spesifik (KES) merupakan jumlah energi yang diterima dibandingkan dengan satu satuan massa air bahan yang diuapkan.

$$KES = \frac{Q_{Ts}}{M_{Uap}} \quad (3)$$

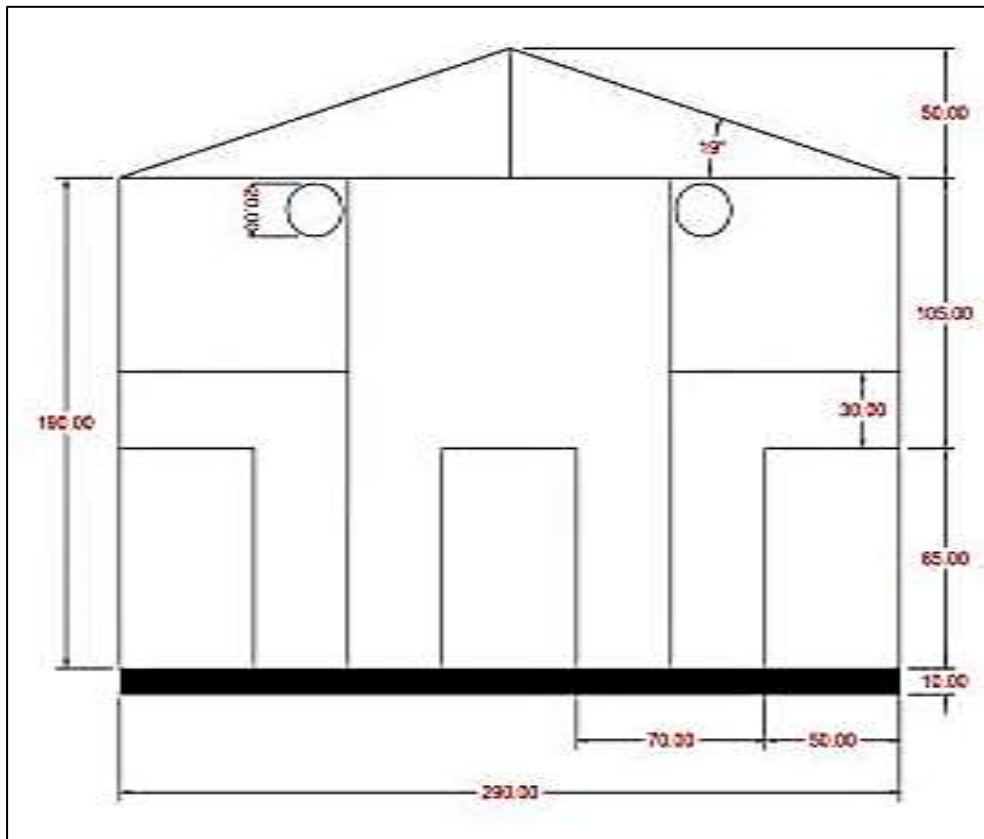
Dimana KES = konsumsi energi spesifik (kJ/kg), Q_{Ts} = energi total sistem, (kJ) dan M_{Uap} = massa air yang diuapkan selama pengeringan (kg).



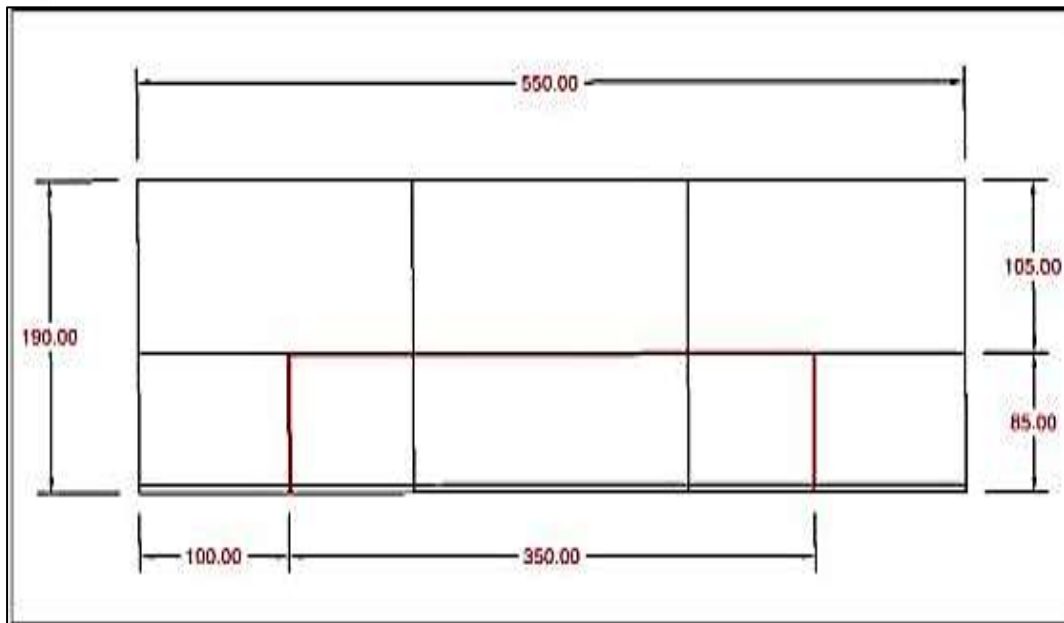
Gambar 1. Rancangan 3D rumah pengering biji kopi tipe (ERK).



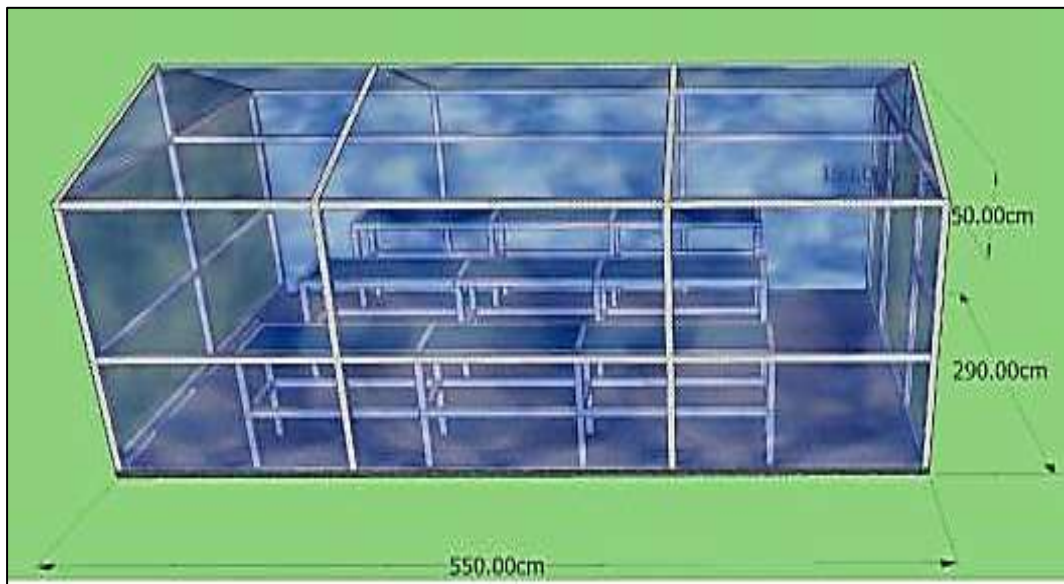
Gambar 2. Rancangan 3D rumah pengering biji kopi tipe (ERK) dari arah depan.



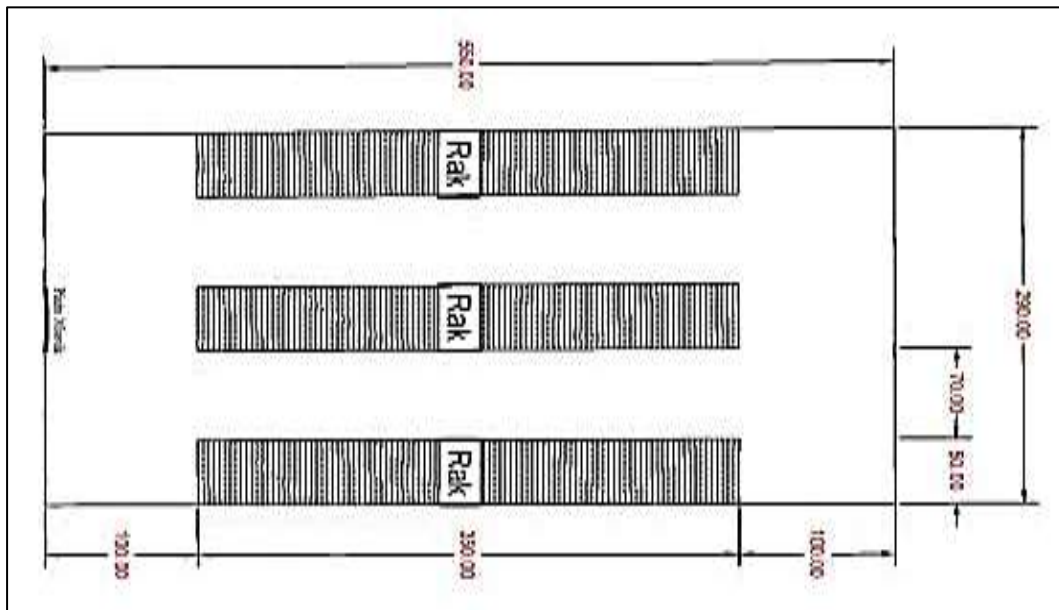
Gambar 3. Rancangan rumah pengering biji kopi tipe (ERK) tampak depan.



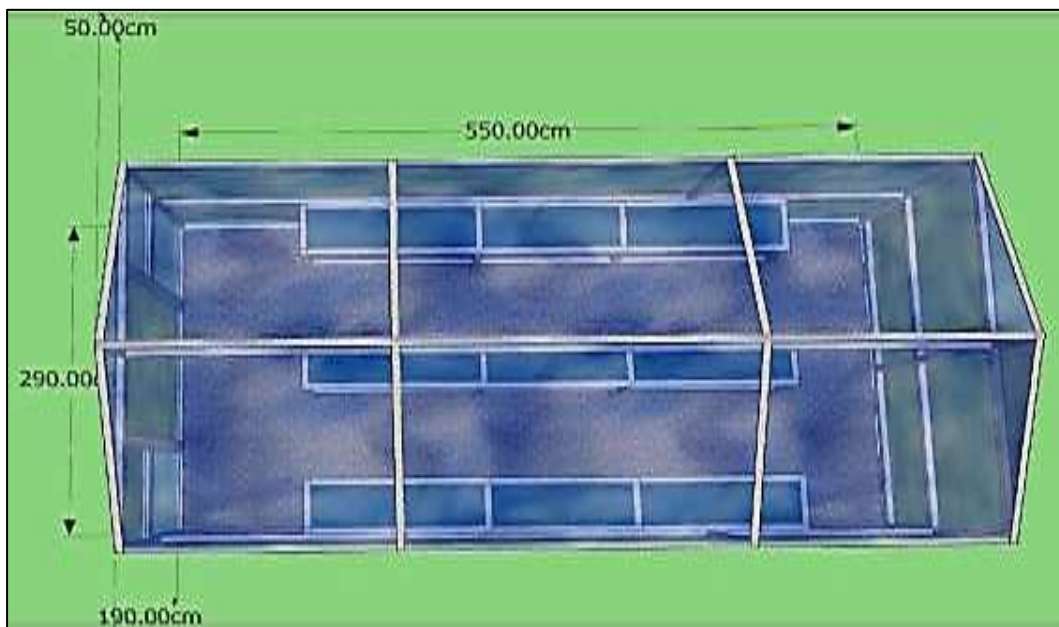
Gambar 4. Rancangan rumah pengering biji kopi tipe (ERK) tampak samping.



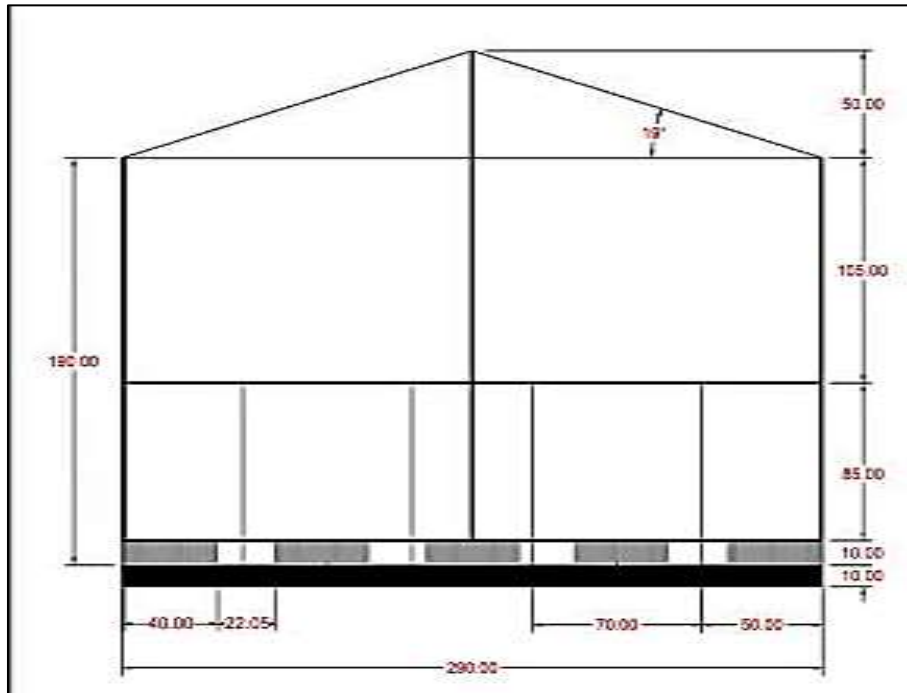
Gambar 5. Rancangan 3D rumah pengering biji kopi tipe (ERK) dari arah samping.



Gambar 6. Rancangan rumah pengering biji kopi tipe (ERK) tampak atas.



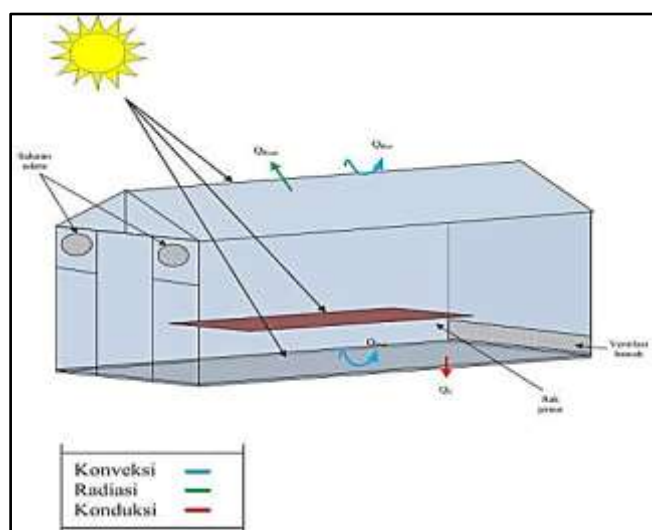
Gambar 7. Rancangan 3D rumah pengering biji kopi tipe (ERK) dari arah atas.



Gambar 8. Rancangan rumah pengering biji kopi tipe (ERK) tampak belakang.



Gambar 9. Rancangan 3D rumah pengering biji kopi tipe (ERK) dari arah belakang.



Gambar 10. Perpindahan panas secara konveksi, radiasi dan konduksi yang terjadi dalam rumah pengering.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter awal rancangan

Parameter awal rancangan adalah untuk menentukan dan mengasumsikan data yang diperlukan untuk perhitungan jumlah energi yang dibutuhkan selama proses pengeringan berlangsung (lihat Tabel 1). Data yang didapatkan beragam diperoleh pada saat penelitian dilakukan serta data yang diperoleh dari studi literatur yang tersedia terkait dengan penelitian yang dilakukan. Adapun data yang didapat seperti data radiasi matahari yang diperoleh dari BMKG Kota Kupang, data kadar air awal dan akhir biji kopi menurut SNI serta data produksi kopi di Provinsi Nusa Tenggara Timur yang diperoleh dari Dinas Perkebunan Provinsi NTT. Kemudian data yang disumsikan seperti besar nilai variasi kecepatan udara masuk dan keluar pengering (dalam hal ini udara bergerak pada keadaan konstan tanpa ada faktor pendorong yang memaksanya untuk berpindah), besar nilai temperatur awal dan akhir pengering, besar nilai temperatur udara lingkungan dan udara pengering, besar nilai temperatur pada bahan (biji kopi), besar nilai entalpi awal dan akhir

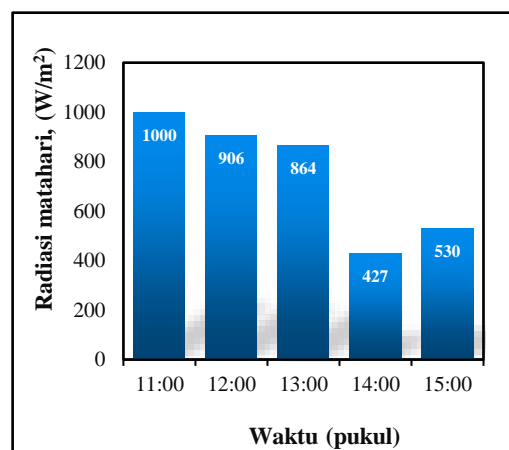
yang diperoleh dari diagram psikometrik jika merujuk pada nilai besar temperatur awal dan akhir pengering yang telah diasumsikan sebelumnya, serta besar nilai kelembaban awal dan akhir didalam dan diluar alat pengering.

Pada proses perhitungan pengeringan biji kopi ditentukan bahwa waktu atau lama pengeringan dari biji kopi yang dikeringkan membutuhkan waktu selama empat hari dimana per harinya biji kopi akan dikeringkan selama empat jam dimulai pada pukul 11:00-15:00. Untuk itu dibutuhkan data besar nilai intensitas radiasi matahari per jam yang terjadi pada saat pengeringan berlangsung. Data besar nilai intensitas radiasi matahari per jam di Kota Kupang yang didapat bersal dari pengukuran yang diperoleh dari BMKG. Dari hasil pengolahan data dan pengukuran radiasi matahari yang dilakukan oleh BMKG El-tari Kupang pada bulan Maret, diperoleh kondisi total rata-rata radiasi matahari per jam yang dimulai dari pukul 11:00-15:00 WITA.

Gambar 11 menunjukkan nilai rata-rata iradiasi surya pada pukul 11:00 yaitu 1000 W/m², pada pukul 12:00 yaitu 906 W/m², pada pukul 13:00 yaitu 864 W/m², pada pukul 14:00 yaitu 427 W/m² dan pada pukul 15:00 yaitu 530 W/m².

Tabel 1. Data awal rancangan.

Data awal rancangan	Nilai		
Kecepatan udara masuk dan keluar pengering (m/s)	0,1	0,2	0,3
Diameter saluran udara (m)	0,2	0,2	0,2
Luas permukaan saluran udara (m ²)	0,031	0,031	0,031
Debit aliran udara (m ³ /s)	0,006	0,013	0,019
Laju massa udara (m ³ /s)	0,007	0,014	0,021
Kadar air biji kopi awal (%)	60	60	60
Kadar air biji kopi akhir (%)	11	11	11
Temperatur awal pengering (°C)	30	30	30
Temperatur akhir pengering (°C)	45	45	45
Entalpi awal (kJ/kg)	70	70	70
Entalpi akhir (kJ/kg)	93	93	93
Kelembaban awal (pengering dan lingkungan) (%)	60	60	60
Kelembaban akhir (pengering dan lingkungan) (%)	20	20	20
Temperatur udara pengering (°C)	50	50	50
Temperatur udara lingkungan (°C)	30	30	30
Temperatur rata-rata (°C)	40	40	40
Temperatur bahan (biji kopi) (°C)	30	30	30
Volume jenis udara (m ³ /kg)	0,78	0,78	0,78
Absorbsivitas dinding transparan (pengering)	0,94	0,94	0,94
Transmisivitas dinding transparan (pengering)	0,45	0,45	0,45
Berat awal bahan (biji kopi) (kg)	45,60	45,60	45,60
Panas Jenis bahan (biji kopi) (kJ/kg °C)	4,19	4,19	4,19
Panas laten penguapan air bebas (kJ/kg)	2392,1	2392,1	2392,1
Panas jenis udara pada tekanan konstan (kJ/kg °C)	1,0066	1,0066	1,0066
Tebal plastik atau dinding pengering (mm)	0,0002	0,0002	0,0002



Gambar 11. Grafik radiasi matahari per jam (dari pukul 11:00-15:00 WITA) di Kota Kupang [7]

Perhitungan perpindahan panas secara konveksi

Koefisien perpindahan panas konveksi bebas rata-rata untuk berbagai situasi dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi sebagai kinerja sistem dan pengering yang digambarkan oleh keseimbangan energi yang menunjukkan konversi energi surya menjadi keuntungan energi yang berguna dan berbagai kerugian. Analisis termal disini mengikuti prosedur Duffle and Beckaman [8]. Beberapa sifat udara yang berikut yang diambil dari suhu rata-rata dalam pengering digunakan untuk analisis (diambil dari Holman [24]). $\rho = 1,1324 \text{ kg/m}^3$, $c_p = 1,0066 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$, $\mu = 0,02719$, $\nu = 1,9036 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$, $\nu = 16,9616 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Bilangan Grashof :

$$Gr = \frac{g\beta L^3 \Delta T}{\nu^2}$$

$$= \frac{9,81 \text{ m}^2 \times 0,025 \text{ K}^{-1} \times 5,5^3 \text{ m} \times (50 - 30)^\circ\text{C}}{(16,9616 \times 10^{-6})^2 \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$= 2,83657 \times 10^{12}$$

Dimana g adalah percepatan gravitasi, $\nu = \mu / \rho$, $\beta = 1/T$, $\Delta T = T_r - T_1$, dan $T = (T_1 + T_r)/2$, dan L adalah panjang ruang pengering secara horizontal. Pada hasil perhitungan angka grasford ini merupakan jumlah arus konveksi

bebas dan perpindahan panas yang berlangsung terutama melalui konduksi yang terjadi didalam ruang pengering.

Bilangan Prandtl :

$$\begin{aligned} Pr &= \frac{c_p \cdot \mu}{k_u} \\ &= \frac{1,0066 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C} \times 0,000019036 \text{ kg.m/s}}{0,02719 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}} \\ &= 0,000704731 \end{aligned}$$

Produk perkalian antara bilangan Grashof dan bilangan Prandtl disebut dengan bilangan Rayleigh :

$$\begin{aligned} Ra_L &= Gr \cdot Pr \\ &= (2,8365 \times 10^{12}) \times 0,00070473 \\ &= 1,99902 \times 10^9 \end{aligned}$$

Proses pemanasan atau pendinginan konveksi alamiah dan ruang tertutup berbentuk silinder vertikal atau horizontal dapat dihitung dengan :

$$\begin{aligned} Nu_{hor} &= 0,54 Ra_L^{1/4} \\ &= 0,54 \times (1,99902 \times 10^9)^{1/4} \\ &= 114,18 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu_{ver} &= 0,68 + \frac{0,67 \times Ra_L^{1/4}}{(1 + (0,492 / Pr)^{9/16})^{4/9}} \\ &= 0,68 + \frac{0,67 \times (1,99902 \times 10^9)^{1/4}}{(1 + (0,492 / 0,00070473)^{9/16})^{4/9}} \\ &= 27,94 \end{aligned}$$

Koefisien transfer panas dapat dihitung secara vertikal dan horizontal dihitung dengan :

$$\begin{aligned} h_{hor} &= \frac{k_u Nu_{hor}}{L} \\ &= \frac{0,0279 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \times 114,18}{5,5 \text{ m}} \\ &= 5,6447 \times 10^{-01} \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_{ver} &= \frac{k_u Nu_{ver}}{L} \\ &= \frac{0,0279 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C} \times 27,94}{5,5 \text{ m}} \\ &= 1,3812 \times 10^{-01} \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Resistensi termal total rata-rata selama pengeringan dihitung dengan :

$$\begin{aligned} \sum R_{hor} &= \frac{1}{h_{hor} A_{hor}} + \frac{x_p}{0,228 A_{hor}} \\ &= \frac{1}{5,6447 \times 10^{-01} \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \times 16,83 \text{ m}^2} + \frac{0,0002 \text{ mm}}{0,228 \times 16,83 \text{ m}^2} \\ &= 1,0531 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C/W} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum R_{ver} &= \frac{1}{h_{ver} A_{ver}} + \frac{x_p}{0,228 A_{ver}} \\ &= \frac{1}{1,3812 \times 10^{-01} \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \times 20,9 \text{ m}^2} + \frac{0,0002 \text{ mm}}{0,228 \times 20,9 \text{ m}^2} \\ &= 3,4646 \times 10^{-01} \text{ } ^\circ\text{C/W} \end{aligned}$$

Dimana A adalah area permukaan pengering dan x_p adalah tebal plastik. Dalam kasus ini udara di lingkungan diasumsikan tidak bergerak oleh karena itu, koefisien transfer panas diluar pengering dianggap sebagai nol.

Total rata-rata perpindahan panas yang terjadi selama pengeringan dapat dihitung dengan :

$$\begin{aligned} Q_{Inhor} &= \frac{3,6t(T_r - T_l)}{\sum R_{hor}} \\ &= \frac{3,6 \times 4 \text{ jam} \times (50 - 30) \text{ } ^\circ\text{C}}{1,0531 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C/W}} \\ &= 2734,68 \text{ kJ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{Inver} &= \frac{3,6t(T_r - T_l)}{\sum R_{ver}} \\ &= \frac{3,6 \times 4 \text{ jam} \times (50 - 30) \text{ } ^\circ\text{C}}{3,4646 \times 10^{-1} \text{ } ^\circ\text{C/W}} \\ &= 831,26 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Total rata-rata perpindahan panas yang keluar selama pengeringan terjadi dihitung dengan :

$$\begin{aligned} Q_{Out} &= 3,6t\varepsilon\sigma A(T_r^4 - T_l^4) \\ &= 3,6 \times 4 \text{ jam} \times 0,94 \times (5,669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times \\ &\quad (16,83 + 20,9) \text{ m}^2 \times (50^4 - 30^4) \text{ } ^\circ\text{C} \\ &= 157,50 \text{ kJ} \end{aligned}$$

Dimana ε adalah koefisien emisivitas bahan (dinding), t adalah waktu pengeringan dan σ adalah konstanta Stefan-Boltzmann.

Total rata-rata panas yang hilang selama pengeringan dilakukan dihitung dengan :

$$\begin{aligned}
 Q_{Loss} &= (Q_{InHor} + Q_{mVer}) + Q_{Out} \\
 &= (2734,68 + 831,26) \text{ kJ} + 157,50 \text{ kJ} \\
 &= 3723,44 \text{ kJ}
 \end{aligned}$$

Dimana untuk setiap variasi kecepatan udara, total rata-rata panas yang hilang selama pengeringan dianggap sama.

Hasil analisis kebutuhan energi dan efisiensi rumah pengering

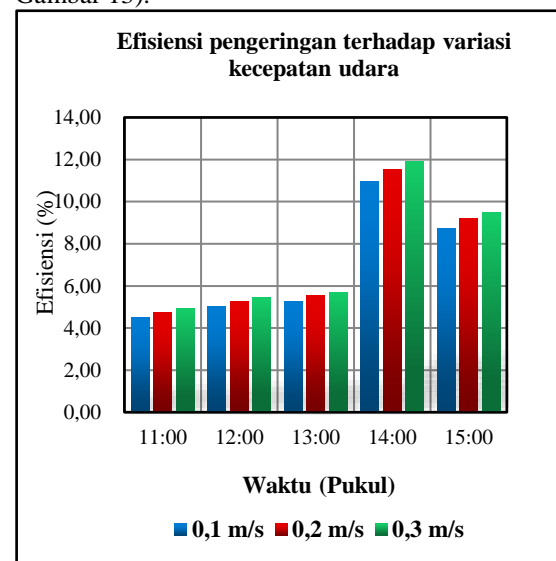
Fokus penelitian adalah pada pengeringan biji kopi dengan asumsi (Tabel 2) bahwa mula-mula tingkat kadar air awal biji kopi sebelum dilakukan pengeringan mempunyai nilai sebesar 60% (bb) dan tingkat kadar air akhir biji kopi sesudah dilakukan proses pengeringan mempunyai nilai sebesar 11% (bk). Pengeringan pada biji kopi ini ditentukan membutuhkan waktu pengeringan selama enam belas jam dimana per harinya pengeringan dilakukan selama empat jam dimulai pada pukul 11.00 dan berakhir pada pukul 12.00. Dengan besar nilai laju pengeringan yang diperoleh pada biji kopi sebesar 3,06%/jam, yaitu jumlah tingkat nilai kadar air yang harus diuapkan selama satu jam pengeringan (Gambar 12).

Tabel 2. Mekanisme pengeringan pada biji kopi.

Keterangan	Nilai		
	0,1	0,2	0,3
Kecepatan udara (m/s)	0,1	0,2	0,3
Berat awal biji kopi (kg)	45,60	45,60	45,60
Kadar air biji kopi awal (%)	60	60	60
Kadar air biji kopi akhir (%)	11	11	11
Lama waktu pengeringan (jam/hari)	4	4	4
Laju pengeringan per jam (% bk/jam)	3,06	3,06	3,06
Berat air yang diuapkan selama satu jam pengeringan (kg/jam)	1,16	1,30	1,40
Berat air yang diuapkan selama pengeringan (kg)	18,51	20,83	22,34

Alat pengering ini juga dirancang dengan memperhitungkan variasi kecepatan udara yang terjadi didalam alat pengering. Dalam penelitian ini aliran kecepatan udara yang

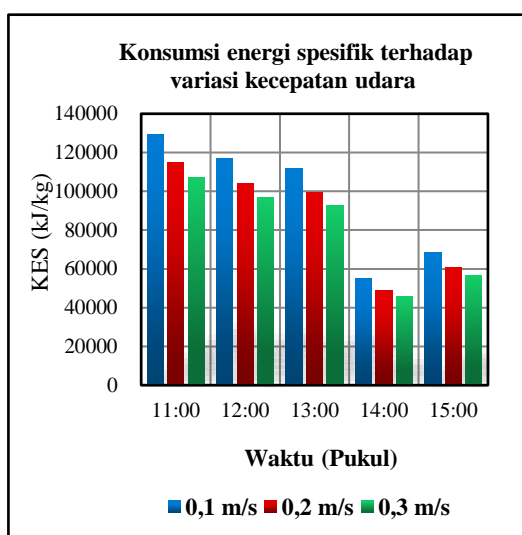
diasumsikan sebesar 0,1 m/s, 0,2 m/s dan 0,3 m/s, tujuan dari memperhitungkan ketiga variasi kecepatan udara ini adalah untuk mengetahui apakah besar laju kecepatan aliran udara berpengaruh terhadap proses pengeringan yang dilakukan. Diketahui bahwa efisiensi pengeringan berpengaruh terhadap jumlah konsumsi energi spesifik yang terpakai selama terjadinya proses pengeringan. Dari hasil analisis perhitungan kebutuhan energi yang telah dilakukan, didapatkan perbandingan efisiensi pengeringan dan konsumsi energi spesifik (KES) terhadap variasi kecepatan udara (Gambar 12 dan Gambar 13).



Gambar 12. Grafik efisiensi pengeringan terhadap variasi kecepatan udara.

Adapun faktor lain yang mempengaruhi besar nilai efisiensi ialah total luas permukaan pengering, berat awal biji kopi dan jumlah energi total sistem yang digunakan untuk mengeringkan biji kopi. Dijelaskan bahwa efisiensi pengeringan terendah didapat pada pukul 11.00 pada kecepatan udara 0,1 m/s yaitu sebesar 4,52% dengan jumlah konsumsi energi spesifik sebesar 129.178 kJ/kg dengan massa awal biji kopi sebelum dikeringkan sebesar 45,60 kg. Dijelaskan juga bahwa efisiensi pengeringan terbesar didapat pada

pukul 14.00 pada kecepatan udara 0,3 m/s yaitu sebesar 11,91% dengan jumlah konsumsi energi spesifik sebesar 45.719 kJ/kg dengan massa awal biji kopi sebelum dikeringkan seberat 45,60 kg (lihat Tabel 3).



Gambar 13. Grafik konsumsi energi spesifik (KES) terhadap variasi kecepatan udara.

Tabel 3. Hasil analisis kebutuhan energi yang dibutuhkan alat pengering.

Kecepatan (m/s)	Waktu (pukul)	Energi (kJ)	Efisiensi (%/jam)	KES (kJ/kg)
0,1	11.00	149.524	4,52	129.178
	12.00	135.469	5,00	117.035
	13.00	129.189	5,25	111.61
	14.00	63.847	10,96	55.159
	15.00	79.248	8,73	68.464
0,2	11.00	149.524	4,76	114.864
	12.00	135.469	5,26	104.066
	13.00	129.189	5,53	99.242
	14.00	63.847	11,53	49.047
	15.00	79.248	9,18	60.878
0,3	11.00	149.524	4,91	107.07
	12.00	135.469	5,44	97.006
	13.00	129.189	5,71	92.509
	14.00	63.847	11,91	45.719
	15.00	79.248	9,48	56.747

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan tentang rancangan rumah pengering kopi menggunakan plastik ultraviolet (*uv solar dryer*) dengan mekanisme konveksi alamiah maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- Hasil rancangan rumah pengering memiliki spesifikasi sebagai berikut: spesifikasi dimensi ruang atau rumah pengering yang akan dirancang direncanakan berbentuk persegi dengan ukuran panjang 550 cm, lebar 290 cm dan tinggi 240 cm. Dibagian depan dan belakang pengering juga di pasang saluran udara. Dengan spesifikasi saluran udara : pada bagian depan pengering terdapat dua saluran udara berbentuk lingkaran dengan diameter 20 cm dan dibagian belakang pengering berbentuk persegi dengan ukuran panjang 40 cm dan lebar 10 cm, selisih masing-masing saluran udara yaitu 22,05 cm (ditempatkan dibagian bawah pengering).
- Berdasarkan asumsi tingkat kadar air awal biji kopi sebelum dikeringkan sebesar 60% dan setelah melewati proses pengeringan (selama 16 jam) tingkat kadar air akhir biji kopi berkisar antara 11-12%. Laju pengeringan yang diperoleh sebesar 3,06% bk/jam (kadar air yang diuapkan selama satu jam), Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi laju pengeringan seperti kecepatan udara didalam pengering, total luas permukaan pengering, waktu operasi pengeringan dan berat awal biji kopi sebelum dikeringkan.
- Massa awal biji kopi diketahui seberat 45,60 kg dengan tingkat kadar air yang diuapkan selama satu jam pengeringan sebesar 3,06% bk/jam. Berat kadar air yang diuapkan selama satu jam pengeringan berdasarkan tiap variasi kecepatan udara yaitu untuk kecepatan udara 0,1 m/s seberat 1,16 kg kadar air yang diuapkan, untuk kecepatan udara 0,2 m/s seberat 1,30 kg kadar air yang diuapkan dan untuk kecepatan udara 0,3

- m/s seberat 1,40 kg kadar air yang diuapkan.
- Energi total pengeringan yang diperoleh untuk tiap masing-masing variasi kecepatan udara yaitu 0,1 m/s sebesar 2667,937 kJ, 0,2 m/s sebesar 5335,874 kJ dan 0,3 m/s sebesar 8003,811 kJ. Sementara energi total sistem yang didapat berdasarkan waktu pengeringan yaitu pada pukul 11.00 sebesar 149.524 kJ, pada pukul 12.00 sebesar 135.469 kJ, pada pukul 13.00 sebesar 129.189 kJ, pada pukul 15.00 sebesar 63.847 dan pada pukul 15.00 sebesar 79.248 kJ.
 - Efisiensi pengeringan tertinggi berdasarkan variasi kecepatan udara didapat yaitu kecepatan udara 0,1 m/s sebesar 10,96%/jam dengan konsumsi energi spesifik sebesar 55.159 kJ/kg terjadi pada pukul 14.00, kecepatan udara 0,2 m/s sebesar 11,53%/jam dengan konsumsi energi spesifik sebesar 49.047 kJ/kg terjadi pada pukul 14.00 dan kecepatan udara 0,3 m/s sebesar 11,91%/jam dengan konsumsi energi spesifik sebesar 45.719 kJ/kg terjadi pada pukul 14.00.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Haryadi. "Teknologi Modifikasi Tepung Kasava". *AGRITECH*, Vol. 31 (2) (2011): 86 - 92.
- [2]. Prasojo D. "Efisiensi Proses Pengeringan Tapioka di PT. Umas Jaya Agrotama, Terbanggi Besar, Lampung Tengah." *Skripsi Fateta IPB. Bogor*. (2009).
- [3]. Putra. 2019. "Potensi Energi Terbarukan di Nusa Tenggara Timur Sangat Kaya. Inilah Datanya". Pos Kupang Cetak. 15 Januari 2019. Kupang.
- [4]. Anonim. 2019. "Luas Areal Kopi Menurut Provinsi di Indonesia, 2015-2019." *Direktorat Jenderal Perkebunan*.
<https://www.coursehero.com/file/48239760/306-Areal-Kopipdf/>. (diakses 10 Januari 2020).
- [5]. Noviansyah, Chikal. "Perancangan, Pembuatan Dan Pengujian Ruang Pengereng Biji Kopi Tipe *Cabinet Dryer*." *Skripsi Fakultas Teknik UNILA. Lampung*. (2015).
- [6]. Henderson, S.M. and R.L Perry. 1976. "Agricultural Process Engineering". The AVI Publishing Co. Inc., Westport, Connecticut.
- [7]. Sasongko, Nugroho Adi, et al. "Pemanfaatan Teknologi Energi Surya Dalam Memenuhi Kebutuhan Air Bersih di Markas TNI Perbatasan Maritim: Studi di Pos TNI AL., Labuan Bajo, Nusa Tenggara Timur." *Jurnal Pertahanan & Bela Negara* 9.1 (2019).
- [8]. Duffie, J. A., and Beckman, W. A. 1980. "Solar Engineering And Thermal Processes". Jhon Willey And Sons Inc. New York