

Uji Performa Alat Pengering Tray Dryer untuk Komoditas Hasil Pertanian yang Memanfaatkan Kalor Buangan Kondensor Mesin Pengkondisian Udara (*Air Conditioning*) Domestik

Apollo^{1*}, Sonong², Andi Fathin Faruq R.³ dan Rastutu⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*apollo@poliupg.ac.id

Abstract: *The drying methods currently used by farmers still rely heavily on direct solar power, so that the continuity of drying to reduce water content cannot be controlled properly, which has a direct impact on the low quantity and quality of drying results, as well as poor product hygiene. Utilization of condenser waste heat from cooling machines is one of the development applications for heat pump systems. The advantages of heat pumps for the drying process include their ability to control the temperature and humidity in the drying chamber, so that they can be adjusted for various drying conditions and the drying process is more efficient and environmentally friendly. This research aims to determine the performance of drying machines for agricultural commodities (cocoa beans) using the method of developing a domestic air conditioning machine, by adding a condenser arranged in series with the main condenser to function as a drying chamber. The results of the modification of this tool consist of five main parts, namely the compressor, tray dryer room (additional condenser), main condenser, expansion valve, and evaporator. Testing of this dryer was carried out with two types of experiments, namely experiments without load and experiments with load. The test was carried out at the maximum working time of the condenser by setting the lowest working evaporator, namely 16°C. The lower the working temperature of the evaporator, the higher the working temperature of condenser 1. This is done to get maximum work from this modified dryer. Based on tests for temperature and relative humidity (RH) under load and no-load conditions, the values are not too different. After approximately 2 hours of operation or when the machine was working in steady state, the highest temperature was obtained at 87°C while the highest average RH was obtained at 78% in the drying rack space. The performance of this agricultural commodity drying machine has functioned well, especially for cocoa beans which have been dried to a standard moisture content of 7.5% in accordance with SNI 2322-2008 for an operating time of 130 minutes. The dryer system by utilizing exhaust heat from the condenser in this domestic air conditioning machine can work well without reducing its main function as indicated by the maximum temperature value of 20°C around the evaporator.*

Keywords: *refrigeration; heat pump; drying.*

Abstrak: Metode pengeringan yang digunakan petani saat ini masih banyak mengandalkan tenaga matahari langsung, sehingga kontinuitas pengeringan untuk menurunkan kadar air tidak dapat dikendalikan secara baik yang berdampak langsung pada rendahnya kuantitas dan kualitas hasil pengeringan, serta higienitas produk yang masih rentang. Pemanfaatan panas buangan kondensor dari mesin pendingin merupakan salah satu pengembangan aplikasi sistem pompa kalor. Keunggulan pompa kalor untuk proses pengeringan antara lain ialah kemampuannya untuk mengendalikan temperatur dan kelembapan pada ruang pengering, sehingga dapat diatur untuk berbagai kondisi pengeringan serta proses pengeringan yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja mesin pengering komoditas hasil pertanian (biji kakao) dengan metode pengembangan mesin pengkondisian udara domestik, dengan cara penambahan sebuah kondensor yang disusun secara seri dengan kondensor utama untuk difungsikan sebagai ruang pengering. Hasil modifikasi alat ini terdiri atas lima bagian utama yaitu kompresor, ruangan rak pengering (tray dryer) (kondensor tambahan), kondensor utama 2, katup ekspansi, dan evaporator. Pengujian alat pengering ini dilakukan dengan dua jenis percobaan yaitu percobaan tanpa beban dan percobaan berbeban. Pengujian dilakukan pada saat kerja maksimum dari kondensor dengan mengatur kerja evaporator terendah yaitu 16°C. Semakin rendah temperatur kerja evaporator maka semakin tinggi temperatur kerja dari kondensor 1. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan kerja maksimum dari alat pengering hasil modifikasi ini. Berdasarkan pengujian untuk temperatur dan kelembapan relatif (RH) pada kondisi berbeban atau tanpa beban, nilainya tidak terlalu berbeda. Setelah kurang lebih 2 jam beroperasi atau ada saat mesin bekerja dalam kondisi tunak, temperatur tertinggi diperoleh sebesar 87°C sedangkan RH tertinggi rata-rata diperoleh sebesar 78% pada ruang rak pengering. Kinerja mesin pengering komoditas hasil pertanian ini telah berfungsi dengan baik khususnya untuk biji kakao yang telah dikeringkan hingga mencapai kadar air standar

7,5% sesuai dengan SNI 2322-2008 untuk waktu operasi di 130 menit. Sistem pengering dengan memanfaatkan kalor buangan kondensor pada mesin pengkondisian udara domestik ini dapat bekerja dengan baik tanpa mengurangi fungsi utamanya yang ditunjukkan oleh nilai temperatur maksimal 20°C pada sekitar evaporatornya.

Kata kunci: *refrijerasi, pompa kalor; pengering.*

I. PENDAHULUAN

Pengeringan komoditas hasil pertanian dilakukan dengan tujuan mengurangi kadar air, sehingga dapat mencegah terjadinya pembusukan oleh cendawan atau bakteri. Dengan demikian, bahan baku maupun bahan jadi yang telah dikeringkan dapat lebih tahan lama untuk disimpan tanpa mengurangi penurunan mutu sebelum diolah lebih lanjut. Selain itu, komoditas hasil pertanian yang memenuhi standar kekeringan nilai jualnya bisa lebih tinggi dan mudah dipasarkan untuk kebutuhan suplai bahan baku industri pengolahan hasil pertanian. Saat ini para petani masih banyak mengandalkan tenaga matahari langsung, sehingga kontinuitas pengeringan, untuk menurunkan kadar air, tidak dapat dikendalikan secara baik. Hal ini berdampak langsung pada kuantitas dan kualitas pengeringan yang relatif masih rendah. Demikian juga pada higienitas produk yang rentan terkontaminasi oleh kotoran dari burung, binatang melata, serta material terbang lainnya yang ada di udara sekitarnya. Pengeringan adalah proses pengeluaran air dari bahan dengan proses yang menggunakan panas untuk menghasilkan produk kering. Pengeringan sudah dikenal sejak dulu sebagai metode pengawetan produk pertanian. Proses ini dipengaruhi oleh kondisi eksternal yaitu suhu, kelembapan, kecepatan dan tekanan udara panas, kondisi internal seperti kadar air, bentuk/geometri, luas permukaan dan keadaan fisik bahan. Setiap kondisi yang berpengaruh di atas dapat menjadi faktor pembatas laju pengeringan [1]. Tujuan pengeringan adalah mengurangi kadar air bahan sampai batas perkembangan mikroorganisme dan kegiatan enzim yang dapat menyebabkan pembusukan terhambat atau bahkan terhenti sama sekali. Dengan demikian, bahan yang dikeringkan mempunyai waktu simpan lebih lama [2]. Kemampuan udara membawa uap air bertambah besar jika perbedaan antara kelembapan udara pengering dengan udara sekitar bahan semakin besar. Salah satu faktor yang mempercepat proses pengeringan adalah kecepatan angin atau udara yang mengalir. Udara yang tidak mengalir menyebabkan kandungan uap air di sekitar bahan yang dikeringkan semakin jenuh sehingga pengeringan semakin lambat sehingga diperlukan peningkatan suhu ruangan pengeringan. Kelembapan udara berpengaruh terhadap proses pemindahan uap air. Apabila kelembapan udara tinggi, maka perbedaan tekanan uap di dalam dan di luar menjadi kecil sehingga menghambat pemindahan uap air dalam bahan menuju ke luar. Kemampuan bahan untuk melepaskan air dari permukaan akan semakin besar dengan meningkatnya suhu udara pengering yang digunakan. Peningkatan suhu juga menyebabkan kecilnya jumlah panas yang dibutuhkan untuk menguapkan air bahan [2].

Menurut Goh dkk. [3] selain metode pengeringan secara konvensional atau dengan tenaga matahari, juga dapat diterapkan metode dehidrator dengan menggunakan pompa kalor (*heat pump*). Keunggulan pompa kalor untuk proses pengeringan antara lain adalah kemampuannya untuk mengontrol temperatur dan kelembapan, sehingga dapat diatur untuk berbagai kondisi pengeringan, serta proses pengeringan yang lebih efisien dan ramah lingkungan [4]. Sedangkan menurut Fitra & Sukmawati [5], dengan menggunakan pompa kalor untuk pengeringan biji jagung, dibutuhkan waktu sebesar 30 menit/kg. Sedangkan menurut Rizal [6], pada sistem pengering pompa kalor, udara panas dihasilkan setelah melalui kondensor masuk ke dalam ruang pengering kemudian menjadi lembap setelah melewati produk yang telah dikeringkan, kemudian disirkulasi kembali ke unit dehumidifier (evaporator), kandungan air dalam udara lembap tersebut dikondensasi menjadi titik air dan dikeluarkan dari ruang pengering dalam bentuk air, sehingga kelembapan udara pengeringan menjadi turun dan selanjutnya disirkulasikan kembali ke dalam ruang pengering. Metode pengeringan pompa kalor seperti ini paling populer digunakan industri pengeringan berbagai hasil pertanian, akan tetapi membutuhkan teknologi manufaktur yang tinggi, karena evaporator dan kondensor harus digunakan secara bersamaan pada ruang pengeringan. Keunggulan lainnya dari sistem pompa kalor ini ialah adanya produksi kalor yang terus-menerus terjadi di sisi kondensor selama mesin pompa kalor tersebut

bekerja tanpa dipengaruhi oleh keadaan cuaca disekitarnya. Produksi kalor di sisi kondensor inilah yang penting untuk dilokalisir dalam suatu ruang sehingga kandungan air pada komoditas hasil pertanian yang ada didalam ruang tersebut dapat mengalami penguapan.

Sebuah alat pengering komoditas hasil pertanian seyogyanya memperhatikan faktor-faktor yang mempengaruhi proses pengeringan tersebut di atas. Menurut Rizal [6], faktor-faktor yang mempengaruhi pengeringan bahan (komoditas) ialah: luas permukaan bahan, perbedaan suhu bahan dan udara sekitarnya, sifat fisik lingkungan didalam ruangan pengering, serta karakteristik alat pengering. Secara umum, pengeringan komoditas yang terkendali selalu membutuhkan sebuah ruangan dengan sumber udara panas tertentu, misalnya bara api, gas buang pembakaran, pemanas listrik, atau sumber panas lainnya. Akan tetapi metode ini membutuhkan biaya energi tersendiri yang justru akan meningkatkan biaya proses atau biaya produksi komoditas hasil pertanian. Inovasi teknologi yang penting diterapkan adalah bagaimana memanfaatkan secara maksimal kalor buangan pada sisi kondensor sebuah siklus refrijerasi kompresi uap dalam hal ini mesin refrijerator atau mesin pendingin, sehingga biaya pengeringan relatif tidak ada karena mesin refirjerator atau mesin pendingin tersebut masih tetap berfungsi sebagaimana mestinya, artinya fungsi pendinginan tetap digunakan dan fungsi pemanasan juga tetap memberikan manfaat sebagai pengering.

Karakteristik penguapan air dapat ditunjukkan dari perubahan kadar sebelum dan setelah mengalami proses. Kadar air suatu bahan menunjukkan banyaknya kandungan air persatuan bobot bahan yang dapat dinyatakan dalam persen berat basah (*wet basis*) atau dalam persen berat kering (*dry basis*). Kadar air berat basah (b.b) mempunyai batas maksimum teoritis sebesar 100%, sedangkan kadar air kering dapat lebih dari 100%. Kadar air berat basah adalah perbandingan antara berat air yang ada dalam bahan dengan berat total bahan. Kadar air berat basah dapat ditentukan dengan persamaan berikut ini.

$$m_{bb} = \frac{W_m}{W_t} \times 100\% \quad (1)$$

dimana m_{bb} adalah kadar air berat basah (% b.b), W_m adalah massa air dalam bahan (gr), W_d adalah berat padatan massa padatan dalam bahan (gr) atau massa bahan kering mutlak, dan W_t adalah adalah berat total (gr). Sedangkan kadar air berat kering adalah perbandingan berat air yang ada dalam bahan dengan berat padatan yang ada dalam bahan. Kadar berat air kering (m_{bk}) dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$m_{bk} = \frac{W_m}{W_d} \times 100\% \quad (2)$$

Karakteristik lain dari proses penguapan air ialah kelembapan relatif dan kelembapan mutlak. Kelembapan relatif atau kelembapan nisbi didefinisikan sebagai perbandingan antara suatu tekanan parsial uap air yang ada di udara dengan tekanan uap jenuh pada suhu yang sama.

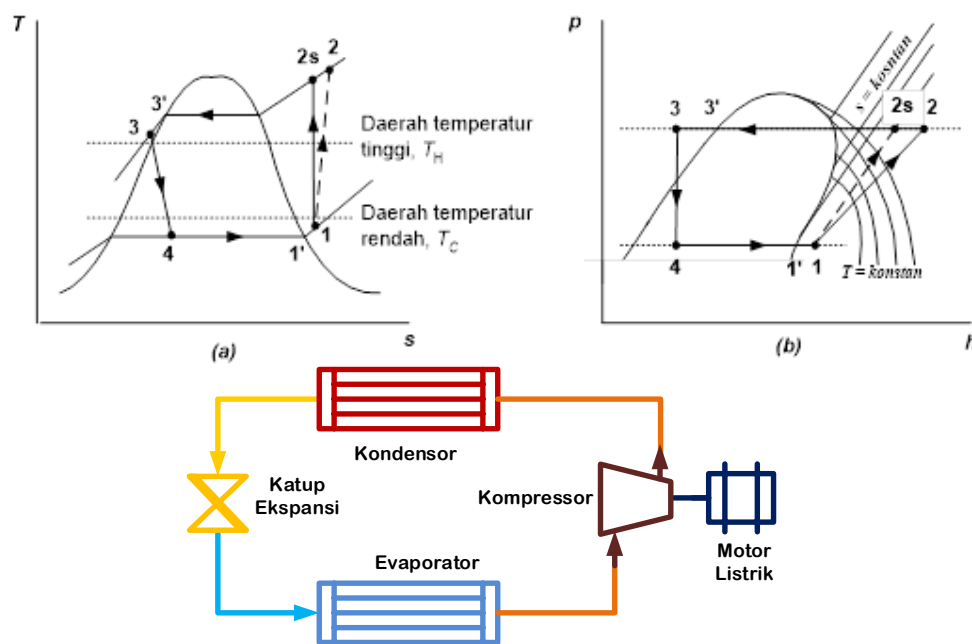
$$RH_s = \frac{P}{P_s} \times 100\% \quad (3)$$

dimana RH_s adalah kelembapan relatif (%), P adalah tekanan parsial uap air pada suhu T (atm), P_s adalah tekanan uap air jenuh pada suhu T (atm) dan T adalah suhu atmosfer ($^{\circ}\text{C}$). Dalam keadaan setimbang dengan bahan pangan, maka hubungan antara aktivitas air dengan kelembapan relatif ditulis sebagai berikut :

$$a_w = \frac{P}{P_s} \times 100\% \quad (4)$$

dimana RH_s adalah kelembapan relatif dalam keadaan kesetimbangan (%) dan P_s adalah tekanan uap jenuh (atm). Kelembapan mutlak (Y) adalah besaran yang digunakan untuk menentukan jumlah uap air di udara. Untuk menentukan nisbi dan kelembapan mutlak dapat digunakan kurva psikometrik, dengan mengukur suhu udara basah dan suhu udara kering. Pengukuran udara kering dilakukan dengan meletakkan termometer di udara, dan suhu udara basah diukur dengan menggunakan thermohyrometer yang di ujungnya dibungkus dengan kapas basah.

Secara umum, prinsip sistem refrigerasi kompresi uap atau pompa kalor adalah proses penyerapan panas dari ruang atau reservoir bertemperatur rendah lalu memindahkannya ke lingkungan atau reservoir bertemperatur tinggi. Komponen utama dari sistem pompa kalor yang menerapkan siklus refrigerasi kompresi uap adalah kompresor, kondensor, katup ekspansi, dan evaporator. Kompresor berfungsi untuk mengalirkan dan menaikkan tekanan gas refrigiran dari evaporator yang selanjutnya dicairkan dalam kondensor. Fungsi dari kondensor mengkondensasikan gas refrigiran dengan menurunkan temperatur dengan tekanan gas yang konstan, lalu refrigiran cair dialirkan ke katup ekspansi untuk diturunkan temperatur dan tekanan yang selanjutnya dialirkan ke dalam evaporator, secara skematik dapat dijelaskan pada pada Gambar 1. Refrigiran yang bersirkulasi di dalam sistem pompa kalor berfungsi sebagai media penyerapan di evaporator dan sebagai media pelepasan kalor di kondensor [7]. Untuk menggerakkan kompresor, diperlukan motor listrik sebagai sumber energi dalam bentuk kerja [8],[9].



Gambar 1. Diagram T-s dan p-h siklus refrigerasi kompresi uap pada sistem mesin pendingin atau pompa kalor

Perpindahan energi dalam bentuk kerja dan kalor pada masing-masing proses yang merupakan volume atur (sistem terbuka) pada siklus Gambar 1 di atas, diterapkan persamaan kesetimbangan laju massa dan energi dengan satu sisi masuk dan satu sisi keluar, maka dengan asumsi bahwa masing-masing proses berlangsung dalam keadaan tunak serta perubahan energi kinetik dan perubahan energi potensial dianggap tidak signifikan, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

a) Refrigiran menerima kerja di kompresor.

Dengan asumsi bahwa tidak terjadi rugi-rugi gesekan pada kompresor maka secara ideal proses ini dianggap isentropik, maka kerja mekanik motor penggerak kompresor untuk mengubah keadaan refrigiran adalah sebagai berikut.

$$W = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) \tag{5}$$

dimana W adalah daya kompresor (kW), \dot{m} adalah laju aliran massa refrigiran (kg/s), h_1 adalah entalpi spesifik refrigiran saat memasuki kompresor (kJ/kg), dan h_2 adalah entalpi spesifik refrigiran pada meninggalkan kompresor (kJ/kg).

b) Refrigiran melepaskan kalor di kondensor.

Pada bagian kondensor ini, refrigiran melepaskan kalornya sehingga berubah fasa dari uap kering menjadi cair pada tekanan yang tetap, sedangkan lingkungan sekitarnya atau reservoir yang

bertemperatur tinggi menerima kalor yang dilepas tersebut sehingga mengalami pemanasan atau peningkatan temperatur pada sisi berfungsi sebagai pompa kalor. Besarnya kalor yang dilepas oleh refrijeran di kondensor adalah sebagai berikut.

$$Q_k = \dot{m} \cdot (h_2 - h_3) \tag{6}$$

dimana Q_k adalah laju kalor yang dilepas refrijeran ke sekitarnya (kW), dan h_3 adalah entalpi spesifik refrijeran saat meninggalkan kondensor (kJ/kg)

c) Refrijeran mengalami proses ekspansi

Pada proses ini refrijeran masuk ke alat ekspansi untuk diturunkan tekanan dan temperaturnya, pada proses ini tidak ada kalor dan kerja yang diterima atau dilepaskan oleh refrijeran sehingga entalpi spesifiknya tetap sehingga $h_3 = h_4$, dimana h_4 adalah entalpi spesifik refrijeran menuju ke evaporator (kJ/kg)

d) Refrijeran menyerap kalor dari lingkungan sekitarnya

Oleh karena temperatur refrijeran lebih rendah dari temperatur ruangan atau lingkungan sekitarnya, maka refrijeran yang mengalir dalam pipa evaporator menyerap kalor dari ruangan sekitarnya, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini.

$$Q_e = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4) \tag{7}$$

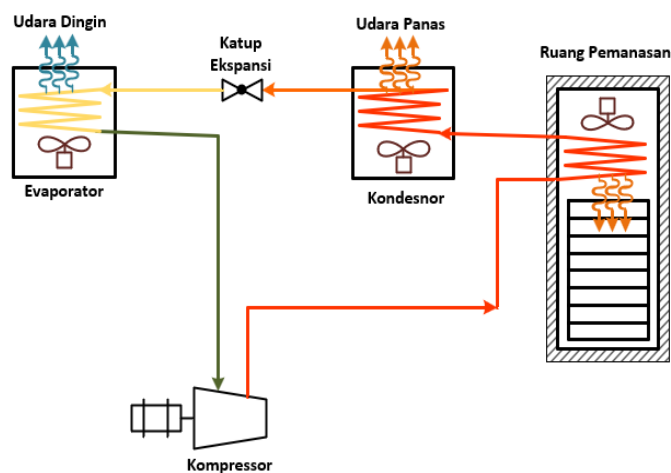
Unjuk kerja siklus refrijerasi kompresi uap dapat dievaluasi melalui paramater *COP* (*coefficient of performance*) baik sebagai pompa kalor [γ] maupun sebagai mesin refrijerasi [α]. Persamaan untuk COP pompa kalor adalah sebagai berikut.

$$\gamma = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_2 - h_1)} \tag{8}$$

sedangkan persamaan untuk COP refrijerasi adalah sebagai berikut.

$$\beta = \frac{(h_1 - h_4)}{(h_2 - h_1)} \tag{9}$$

Temperatur refrijeran sisi keluaran kompresor untuk masuk ke kondensor, pada mesin refrijerasi kompresi uap, dapat mencapai 90°C (tergantung kinerja kompresornya) sedangkan di sisi masukan evaporator, setelah melewati kondensor dan katup ekspansi, dapat tereduksi hingga temperatur -20°C, tergantung jenis refrijeran yang digunakannya. Besarnya perbedaan temperatur tersebut di atas merupakan potensi untuk dimanfaatkan sebagai media pemanasan dengan melakukan penambahan pipa kondensor secara seri yang terlebih dahulu mengalir melalui ruangan yang akan dipanaskan sebelum mengalir ke kondensor sesungguhnya. Hipotesa ini dapat dijelaskan secara skematik pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Diagram skema modifikasi sistem mesin pengkondisian udara domestik yang dilengkapi ruangan pemanasan

II. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, terlebih dahulu dilakukan perancangan alat berdasarkan hipotesa yang ditunjukkan pada Gambar 2. Modifikasi dilakukan pada sebuah mesin pendingin ruangan (*domestic air conditioning*) komersil, melalui penambahan ruangan pengering berbentuk rak (*tray drier*) yang didalamnya terdapat alat penukar panas atau kondensator tambahan yang disusun secara seri dengan didepan kondensator utama. Kondensator tambahan inilah yang menjadi sumber kalor untuk rak pengering. Disain alat yang diwujudkan dalam penelitian ini seperti pada Gambar 3. Untuk mendapatkan perpindahan kalor yang merata pada komoditas yang dipanaskan pada masing-masing tingkatan rak, diperlukan terjadinya perpindahan panas secara konveksi paksa oleh hembusan kipas kondensator tambahan yang diletakkan pada bagian atas rak pengering. Adapun bagian-bagian utama hasil rancang bangun pompa kalor pemanas ruangan pengering komoditas hasil pertanian ialah sebagai berikut.

a. Ruang pengering tipe *tray dryer*

Tray dryer merupakan alat pengering jenis rak yang digunakan untuk mengeringkan bahan / komoditas hasil pertanian seperti misalnya biji kakao. Rangka utama terbuat dari besi hollow ukuran 4x4 dengan tinggi 150 cm dan lebar 55 cm. Pada ruang pengering terdapat 3 komponen utama, yaitu kondensator AC split yang berfungsi untuk mengantarkan panas pada ruang pengering, fan yang berfungsi untuk memaksimalkan agar penyebaran kalor di ruang pengering dapat merata dan 3 buah rak pengering yang terbuat dari kawat kassa berukuran 50x50 cm sebagai media untuk menempatkan bahan uji, serta terdapat pula anemometer yang berfungsi untuk mengukur temperatur dan kelembapan pada ruang pengering.

b. Unit *air conditioning* (AC) model split standar kapasistas 1 PK

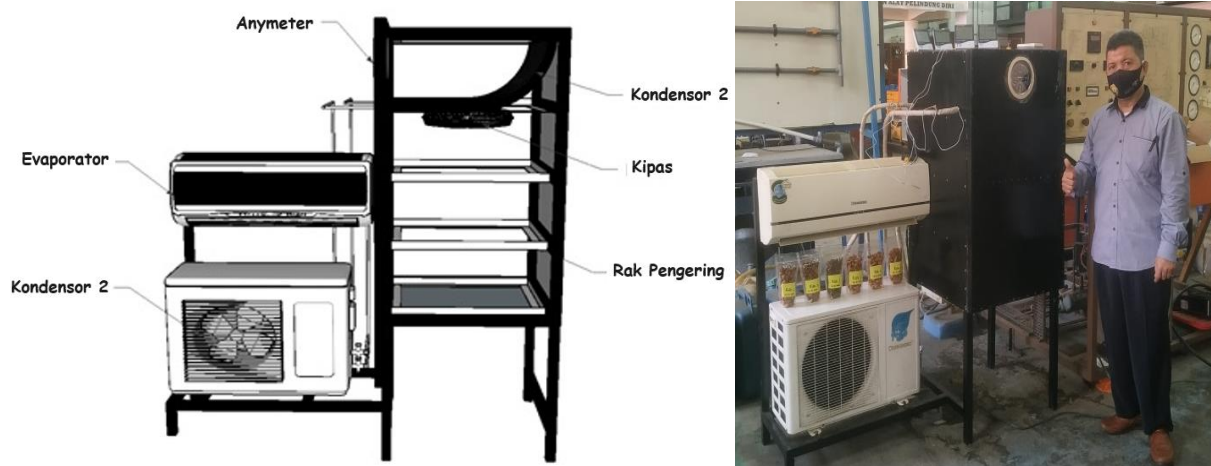
Pemilihan AC split kapasistas 1 PK ini didasarkan pada tingkat popularitas penggunaan dengan kapasistas seperti ini yang paling besar untuk kebutuhan rumah tangga secara umum. Bagian pelepasan kalor (kondensator) pada sistem AC ini terdiri atas dua unit yang dipasang secara seri yang merupakan merupakan penghasil panas. Kondensator pertama berada di dalam ruang pengering (*tray drier*) sedangkan kondensator kedua serta komponen lainnya dari unit AC tersebut berada di luar, sehingga proses pendinginan kondensator oleh udara luar tetap terjadi pada sistem AC ini. Kondensator pertama tersebut merupakan sumber panas untuk menuapkan kandungan air pada komoditi yang ada di dalam ruang pengering.

c. Unit instrumentasi dan pengukuran

Alat ukur yang digunakan pada pengujian ini meliputi alat ukur untuk pengujian kinerja ruang pengering yang terdiri dari: alat ukur temperatur dan kelembapan dalam ruang pengering, alat ukur perubahan massa komoditi yang dikeringkan (biji kakao) serta alat ukur kadar air pada biji komoditi (*grain moisture meter*).

Dalam penelitian ini bahan uji yang digunakan ialah biji kakao dengan massa 500 gram sampai dengan 1500 gram yang selanjutnya dibagi tiga tiap rak sama besar dan diletakkan pada ruang pengering *tray dryer*. Prosedur pengujian dimulai dari menyiapkan peralatan pengujian, menimbang massa awal bahan, memasukkan bahan di setiap rak, mencatat temperatur awal, menghidupkan sistem *heat pump drying*, mengaktif alat pengukuran waktu bersamaan dengan pengoperasian sistem, mencatat temperatur dan kelembapan relatif (RH) setiap 30 menit selama (7 jam). Kemudian untuk prosedur pengujian tanpa beban sama dengan prosedur menggunakan beban kecuali tidak ada bahan biji kakao yang dikeringkan. Pengujian dan/atau pengambilan data meliputi beberapa bagian, diantaranya yakni:

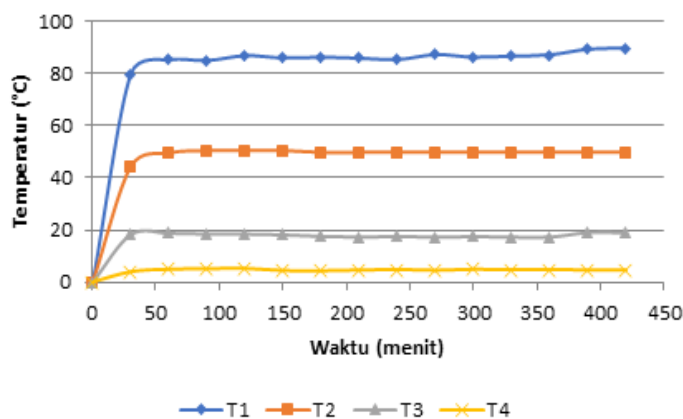
- 1) Data temperatur dan kelembapan relatif diempat titik pada pipa yang dilalui oleh refrigeran.
- 2) Data massa bahan uji sebelum dan sesudah pengeringan serta mengukur kadar air.
- 3) Variasi yang digunakan ialah ada dan tidaknya penggunaan beban yakni bahan uji itu sendiri



Gambar 3. Gambar modifikasi sistem mesin pengkondisian udara domestik yang dilengkapi ruangan pemanasan

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

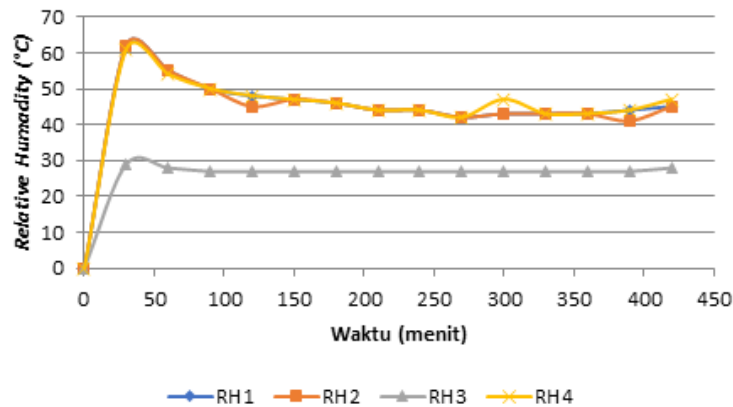
Alat pengering jenis *tray dryer* dengan memanfaatkan kalor buangan pada bagian kondensor sistem mesin pengkondisian udara domestik ini telah berhasil dibuat sesuai dengan tujuan yakni untuk mengetahui persentase peningkatan pengeringan komoditas hasil pertanian dan performa sistem mesin pengkondisian udara domestik sumber kalor ruang pengering. Dalam pengujian penulis melakukan dua percobaan yaitu percobaan tanpa beban dan percobaan berbeban. Pengujian dilakukan pada saat kerja maksimum dari kondensor dengan mengatur kerja evaporator terendah yaitu 16°C. Semakin rendah temperatur kerja evaporator maka semakin tinggi temperatur kerja dari kondensor. Hal ini dilakukan karena ingin melihat kerja maksimum sistem mesin pengkondisian udara domestik yang bertindak sebagai pompa kalor (*heat pump*). Hasil pengujian untuk temperatur dan RH dengan beban atau tanpa beban tidak terlalu berbeda. Temperatur dan RH tertinggi rata-rata pada saat kondisi tunak terdapat pada titik masukan kondensor sebesar 87°C dengan RH 78% pada ruang pengering setelah kurang lebih 2 jam beroperasi.



Gambar 4. Grafik hubungan temperatur terhadap waktu ruang pengeringan pada Pengujian Tanpa Beban.

Grafik pada Gambar 4 ini menunjukkan nilai temperatur yang konstan pada setiap titik ukur dalam rak ruang pengering selama waktu pengujian setelah sistem bekerja dalam kondisi tunak (*steady*). Hal ini disebabkan karena sumber panas yang berasal dari refrigeran yang mengalir setelah meninggalkan

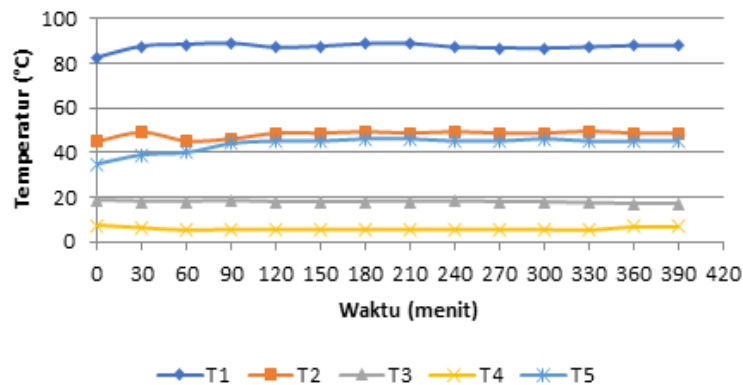
kompressor relatif konstan sesuai dengan tingkat kompresi yang dialaminya selain itu tidak terdapat komoditas yang dikeringkan dalam ruang pengering. Temperatur tertinggi ditunjukkan oleh T_1 yaitu suhu masuk pada *tray dryer* dengan nilai rata-rata sebesar 86°C . Temperatur rendah T_3 dan T_4 yang ditunjukkan pada grafik tersebut merupakan kondisi temperatur disekitar evaporator untuk menunjukkan bahwa fungsi evaporator (pendinginan) pada sistem mesin modifikasi ini berfungsi dengan baik.



Gambar 5. Grafik hubungan kelembapan relatif (RH) terhadap waktu operasi mesin pengering pada pengujian tanpa beban.

Gambar 5 menunjukkan keadaan nilai kelembapan relatif (RH) selama waktu pengujian tanpa beban pada masing-masing tingkatan rak pengeringan. Pada gambar di atas, dapat dilihat nilai kelembapan relatif konstan setelah 2 jam *running*. Hal ini disebabkan karena pada set awal pengoperasian nilai RH yang masih menyesuaikan dengan nilai RH yang terdapat pada lingkungan sekitar. Nilai RH tertinggi ditunjukkan oleh RH_4 dengan nilai rata-rata sebesar 47% dan nilai RH terendah ditunjukkan oleh RH_3 dengan nilai rata-rata sebesar 27%.

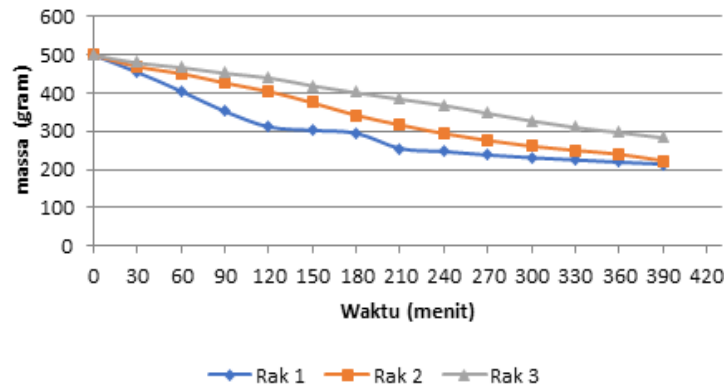
a. Percobaan berbeban



Gambar 6. Grafik hubungan temperatur ruangan pengering terhadap selama waktu pengujian pada pengujian berbeban.

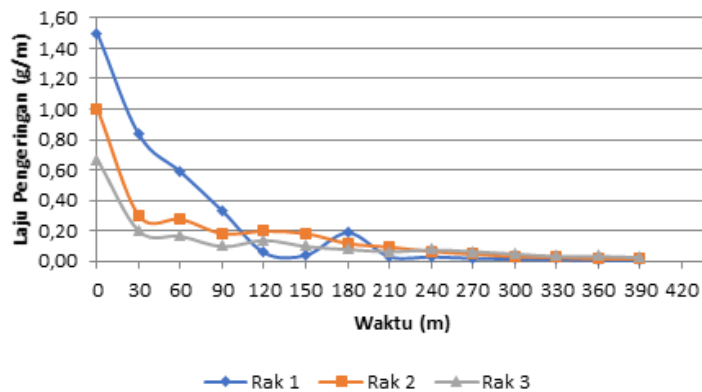
Gambar 6 menunjukkan nilai temperatur (T_1 , T_2 dan T_5) pada setiap tingkatan rak pengering selama waktu pengujian. Pada Gambar di atas didapatkan bahwa T_1 , T_2 dan T_5 yang cenderung konstan setelah 2 jam sistem mesin pengering beroperasi. Hal ini menunjukkan bahwa pengeringan komoditi mulai efektif setelah 2 jam mesin beroperasi. Temperatur rendah T_3 dan T_4 yang ditunjukkan pada grafik tersebut merupakan kondisi temperatur disekitar evaporator untuk menunjukkan bahwa fungsi evaporator (pendinginan) pada sistem mesin modifikasi ini berfungsi dengan baik.

Sebuah mesin pengering bekerja untuk mengurangi kadar uap air udara dalam ruangan pengering sehingga nilai RH semakin tinggi, agar dapat menyerap kandungan air dalam komoditi yang sedang dikeringkan sehingga massa komoditi semakin berkurang. Pada pengujian berbeban untuk mesin pengering ini, perubahan massa komoditi yang dikeringkan dilakukan secara bertahap sehingga ruangan pengeringnya harus dibuka pada saat akan dilakukan pengukuran perubahan massa komoditi. Pada setiap pembukaan ruangan pengeringan maka kandungan uap air pada ruangan akan selalu menyesuaikan dengan kondisi udara sekitar. Oleh karena itu, pengujian kinerja mesin pengering pada keadaan berbeban dilakukan dengan menganalisis kecenderungan perubahan massa komoditi yang dikeringkan.



Gambar 7. Grafik hubungan perubahan massa komoditi terhadap waktu pengeringan pada pengujian berbeban.

Gambar 7 menunjukkan kecenderungan penurunan massa komoditi selama waktu pengujian untuk masing-masing rak walaupun besarnya jumlah penurunan massa yang tidak sama. Hal ini dipengaruhi oleh letak rak terhadap sumber panas (kondensator 1) yang terdapat pada ruangan pengering.

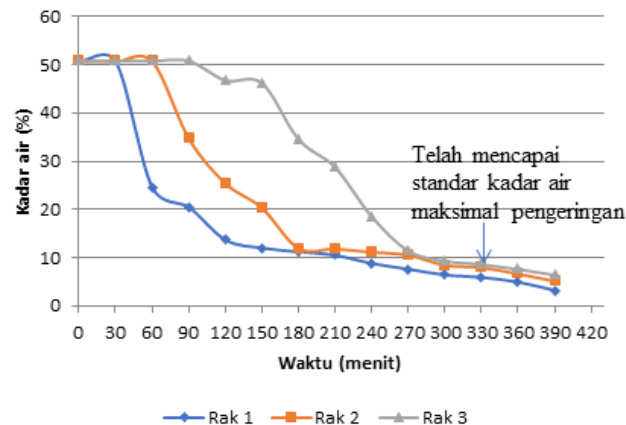


Gambar 8. Grafik hubungan laju pengeringan terhadap waktu operasi mesin pengering.

Pada Gambar 8 di atas, ditunjukkan bahwa rak 1 memiliki nilai laju pengeringan yang lebih tinggi dibandingkan rak 2 dan rak 3. Hal ini disebabkan karena konstruksi dari rak ruang pengering. Rak 1 letaknya lebih dekat dengan sumber panas (kondensator 1) dibandingkan rak 2 dan rak 3. Pada saat proses pengeringan, kandungan air yang terdapat pada komoditas rak 1 lebih dulu diserap oleh kondensator dan kandungan air juga berpindah pada komoditas yang terletak di bawahnya karena sifat udara dingin yang cenderung bergerak turun. Setelah kondisi rak 1 jenuh, laju pengeringan bergerak signifikan pada rak 2 dan rak 3.

Penurunan kadar air komoditi (bahan uji) di dalam ruang pengering terjadi setelah sistem mesin pengering berjalan di atas 60 menit. Hal ini disebabkan karena temperatur di dalam ruang pengering

belum cukup tinggi dan masih dipengaruhi oleh temperature awalnya, sehingga pengukuran kadar air masih menunjukkan hasil yang sama pada saat awal operasinya. Penurunan kadar air terlihat sangat signifikan pada setelah 60 menit dan cenderung konstan pada saat di atas 330 menit beroperasi dan hasilnya telah memenuhi standar kekeringan komoditi (bahan uji) yang diinginkan dalam hal ini biji kakao yakni maksimal 7,5% berdasarkan SNI (232-2008) [7]. Fakta ini ditunjukkan pada grafik Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Grafik penurunan kadar air komoditi terhadap waktu operasi mesin pengering

IV. KESIMPULAN

1. Kinerja mesin pengering komoditas hasil pertanian ini telah berfungsi dengan baik khususnya untuk biji kakao yang telah dikeringkan hingga mencapai kadar air standar 7,5% sesuai dengan SNI 2322-2008 untuk waktu operasi di 130 menit.
2. Sistem pengering dengan memanfaatkan kalor buangan kondensor pada mesin pengkondisian udara domestik ini dapat bekerja dengan baik tanpa mengurangi fungsi utamanya yang ditunjukkan oleh nilai temperatur maksimal 20°C pada sekitar evaporatornya.
3. Untuk pengembangan purwarupa menuju hilirisasi mesin pengering komoditas hasil pertanian jenis ini masih perlu ditindak-lanjuti dalam bentuk disain khusus ruang pengeringnya yang dapat dibongkar pasang secara fleksibel terhadap mesin pengkondisian udara domestik yang secara umum tersedia dipasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Booker, dkk. 1981. Drying cereal grains wetsport connecticut, USA : The AVI publishing company.
- [2] Adawiyah, R. 2014. Pengolahan dan Pengawetan Ikan. Jakarta : PT. Bumi Aksara.
- [3] Goh, dkk. 2011. Review of heat pump systems for drying application. Renewable and Sustainable Energy Review. XV (9): 1
- [4] Claussen, dkk. 2007. Atmospheric freeze drying – a riview. Drying Technology. XXV (2): 1.
- [5] Fitrah, dan Sukmawati. 2018. Pengeringan Komoditas Pertanian dan Perikanan dengan menggunakan Heat Pump. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [6] Rizal, M. Abdul. 2012. Pengeringan Temulawak dengan Heat Pump Drying Sederhana. Laporan Tugas Akhir. Depok : Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- [7] Wibowo, Wahyu Adi. 2019. Standar Mutu Biji Kakao (Cokelat). (online) (<https://multimeter-digital.com/standar-mutu-biji-kakao-cokelat.html>). Diakses pada tanggal 9 Desember 2019.

- [8] Ilyas, 1993. Teknologi Refrigerasi Hasil Perikanan Jilid I Teknik Pendinginan Ikan. Jakarta : Bhatara Aksara.
- [9] Ariyanto, Beny. 2018. Rancang Bangun dan Pengujian Rotary Dryer IDF (Induced Draft Fan) Variasi Putaran dengan Massa 1 kg dan 1,5 kg. Laporan Tugas Akhir. Surakarta : Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.