

RANCANG BANGUN ROKOTALI (ROASTER KOPI TANPA LISTRIK) DENGAN EVACUATED TUBE SOLAR COLLECTORS

Pangestu Try Wibowo; Agus Sukandi; Elfi Nur Rohmah

Program Studi Teknik Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta,
Jalan Prof. Dr. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok 16425
twpangestu1@gmail.com

Abstrak

Pertumbuhan industri kopi dan tingginya harga kopi saat ini memperlihatkan bahwa pertanian kopi dapat memberikan kontribusi besar bagi pendapatan rumah tangga petani kopi di Indonesia. Namun pada kenyataan, dampak pertumbuhan tersebut belum dapat dirasakan oleh petani kopi yang memiliki keterbatasan teknologi terutama dalam proses penyangraian yang masih menggunakan media wajan dan tungku kayu bakar. Distribusi panas yang tidak merata dan tidak diketahuinya temperatur dalam proses penyangraian biji kopi secara tradisional menyebabkan biji kopi sangrai yang dihasilkan hangus sehingga biji kopi hanya mampu dipasarkan dalam bentuk biji mentah (green bean). Hal tersebut tentu akan berpengaruh pada penghasilan yang didapatkan oleh petani kopi. Energi sinar matahari merupakan energi yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber energi yang diimplementasikan dalam alat penyangrai biji kopi. Roaster Kopi Tanpa Listrik (ROKOTALI) merupakan alat yang menerapkan prinsip kerja kolektor surya dengan jenis Evacuated Tube Solar Collectors. Dimana jenis ini akan dibuat dalam keadaan vakum dan mampu menghasilkan panas pada temperatur hingga $\geq 200^{\circ}\text{C}$, dengan panas terbuang atau kehilangan panasnya relatif rendah. Peralatan tabung biji kopi ini akan dirancang dapat berputar pada sebuah poros dengan pillow block bearing dan akan dipasangkan pressure gauge serta thermometer agar saat proses penyangraian, biji kopi mendapat distribusi panas yang merata sehingga menghasilkan biji kopi sangrai yang baik. Pada pengujian ini akan di uji pengaruh kevakuman ruang dalam meningkatkan dan menjaga temperatur tinggi dalam proses perpindahan panas dengan sumber energi matahari yang berguna untuk menyangrai biji kopi hingga mencapai tingkatan light roast dan pengujian tingkat keefektifitasan alat ini jika dibandingkan dengan alat sangrai biji kopi tradisional maupun konvensional. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan efisiensi sebesar 73,28% untuk tabung kolektor saat tekanan vakum dan hanya 44,34% saat tidak vakum. Kenaikan temperatur saat pengujian keadaan tidak vakum hanya sebesar $11,2^{\circ}\text{C}$ sedangkan saat tabung dalam keadaan vakum dapat mencapai kenaikan hingga 42°C terhadap temperatur lingkungan. Dengan percobaan ini biji kopi sangrai dapat ditingkatkan kualitasnya, namun dengan keuntungan tidak perlu menambah beban biaya produksi.

Kata kunci: Kolektor Surya, Evacuated Tube Solar Collectors, Roaster Kopi Tanpa Listrik.

Abstract

The growth of the coffee industry and the high current price of coffee shows that coffee farming can contribute greatly to the income of coffee farming households in Indonesia. But in reality, the impact of such growth can't be felt by coffee farmers who have limitation in technology, especially in roasting process that is still using the wok media and firewood stove. Uneven distribution of heat and unknown temperature in the process of roasting coffee beans have traditionally caused roasted coffee beans so that coffee beans can only be marketed in the form of raw beans (green beans). This will certainly affect the income earned by coffee farmers. Solar energy is energy that can be utilized to be the energy source that is implemented in coffee bean cultivator. ROKOTALI (Coffee Roaster Without Electricity) is a tool that applies the working principle of solar collector with type Evacuated Tube Solar Collectors. Where this type will be made in a vacuum state and capable of generating heat at temperatures up to $\geq 200^{\circ}\text{C}$, but the heat is wasted or heat losses are relatively low. This coffee bean tube apparatus will be designed to rotate on a shaft with pillow block bearing and will be mounted pressure gauge and thermometer so that during the process of roasting, coffee beans get evenly distributed heat to produce good roasted coffee beans. In this test will be tested the effect of vacuum space in improving and maintaining high temperature in the process of heat transfer with solar energy source that is useful to roast coffee beans to reach the level of light roast and testing the level of effectiveness of this tool when compared with traditional coffee beans or conventional grill. Based on the tests that have been done, obtained efficiency of 73.28% for the collector tube when the vacuum pressure and only 44.34% when not vacuum. The temperature rise during the vacuum state test is only 11.2°C while the tube under vacuum can reach up to 42°C with respect to ambient temperature. With this experiment the roasted coffee beans can be improved in quality, but with the advantages do not need to increase the burden of production costs.

Keywords: Solar Collectors, Evacuated Tube Solar Collectors, Coffee Roaster Without Electricity.

I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan industri kopi dan tingginya harga kopi saat ini memperlihatkan bahwa pertanian kopi dapat memberikan kontribusi besar bagi pendapatan rumah tangga petani kopi di Indonesia. Pertumbuhan tersebut dibuktikan dengan harga kopi di Indonesia yang cenderung meningkat dengan rata-rata peningkatan sebesar 4,98% pada tahun 2007 – 2015. Selain itu, konsumsi kopi di Indonesia juga diproyeksikan meningkat sebesar 2,49% pada tahun 2016 – 2020 [1]. Namun pada kenyataannya, masih banyak petani kopi yang belum mendapatkan kesejahteraan dikarenakan pengolahan produksi kopi belum dilakukan secara maksimal sesuai permintaan pasar. Kebanyakan petani kopi memasarkan biji kopinya kepada tengkulak dalam bentuk biji kopi mentah (*green bean*) karena keterbatasan pada teknologi. Hal tersebut tentu berpengaruh terhadap penghasilan yang didapatkan oleh petani kopi mengingat rendahnya harga kopi mentah yang ditawarkan oleh tengkulak kopi. Oleh karena itu perlu dikembangkan suatu bantuan alat teknologi sangrai pengolahan biji kopi mentah yang dapat digunakan petani kopi skala kecil tanpa menambah beban biaya produksi.

Berdasarkan penelitian yang pernah dilakukan oleh Rozi Wiranata mengenai pengaruh tingkat penyangraian terhadap karakteristik fisik dan kimia kopi robusta (2016), dihasilkan 0,86% perubahan kadar air, kecerahan warna dan aktivitas antioksidan dari biji kopi yang disebabkan oleh hasil penyangraian [2]. Kendala pada umumnya yang dihadapi oleh para petani atau produsen kopi skala kecil adalah rendahnya mutu biji kopi hasil sangrai yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh penggunaan alat sangrai kopi secara tradisional yaitu dengan wajan dan tungku kayu bakar sebagai media dalam penyangraian yang dinilai kurang efektif dikarenakan panas wajan saat mengenai biji kopi yang tidak merata dan tidak diketahuinya temperatur dalam proses penyangraian secara tradisional. Akibatnya panas yang berlebihan menyebabkan distribusi panas pada biji kopi tidak merata dan menghasilkan biji kopi yang hangus. Hal inilah yang menyebabkan kebanyakan petani kopi tradisional tidak memasarkan produknya dalam bentuk biji kopi *roast bean*.

Wilayah Indonesia memiliki sinar matahari yang cukup melimpah, terletak pada daerah khatulistiwa yang mempunyai iklim tropis dan radiasi matahari hampir sepanjang tahun [3], sehingga penerapan teknologi pemanfaatan sinar matahari sebagai sumber energi dapat diimplementasikan dalam alat penyangrai biji kopi. Dengan memanfaatkan energi matahari maka tidak membutuhkan adanya daya listrik serta biaya produksi tambahan. Berdasarkan data yang diberikan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia tahun 2004 sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi energi surya dengan radiasi matahari rata-rata 4,8 kWh/m² [4].

Untuk dapat memanfaatkan energi radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi, perlu digunakan suatu perangkat untuk mengumpulkan energi tersebut dan mengubahnya menjadi energi kalor yang berguna. Perangkat ini disebut dengan kolektor surya [5]. Alat penyangraian biji kopi mentah akan menggunakan prinsip kerja kolektor surya di dalamnya, yaitu memanfaatkan radiasi energi panas yang didapatkan dari matahari dengan bantuan bahan konduktor, kemudian panas disimpan dan dijaga temperaturnya pada komponen alat yang disebut absorber dan bahan isolator. Radiasi matahari memiliki distribusi panjang gelombang yang khusus, untuk itu intensitasnya sangat bergantung pada kondisi atmosfer, yaitu sudut-timpa sinar matahari di permukaan bumi [6].

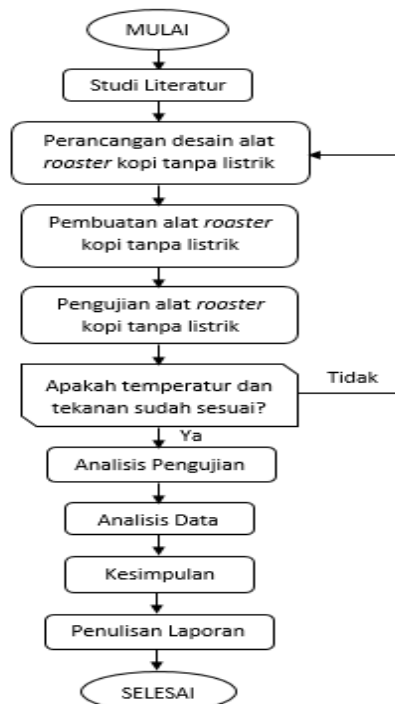
Hal ini diterapkan sebagai perangkat penyangrai biji kopi *green bean* hingga mencapai tingkat olahan *roast bean* yang baik tanpa membutuhkan daya listrik. Jenis *Evacuated Tube Solar Collectors* atau sering disebut kolektor surya tabung hampa dipilih dalam solusi penerapannya, dimana dengan jenis tersebut tabung yang digunakan akan dibuat dalam keadaan vakum dikarenakan jenis ini mampu menghasilkan panas pada temperatur hingga $\geq 200^{\circ}\text{C}$ yang dihasilkan dari efisiensi perpindahan panas yang tinggi namun faktor terbuang atau kehilangan panas relatif rendah [7]. Salah satu syarat dari kehilangan panas adalah adanya media fluida yang dilalui ke suatu bahan atau zat yang memiliki temperatur lebih tinggi. Media fluida yang dimaksud di dalam penerapan jenis *Evacuated Tube Solar Collectors* adalah udara. Kevakuman tabung menciptakan panas matahari yang mengenai plat konduktor diperkecil dalam perpindahan panas terbuangnya, sehingga dapat mempertahankan temperatur dan panas matahari masuk secara konstan akibat radiasi matahari yang tidak terbatas.

Permasalahan menyangrai biji kopi atau memproduksi biji kopi mentah menjadi tahap *roast bean* pada petani kopi skala kecil dapat diatasi dengan mengambil prinsip kerja kolektor surya. Dengan alat ini diharapkan dapat menjadi solusi dari permasalahan pada daerah yang belum tersambung daya listrik secara maksimal, namun memiliki potensi sumber daya alam seperti perkebunan kopi yang melimpah. Peralatan tabung biji kopi sangrai ini akan dirancang dapat berputar pada sebuah poros dengan *pillow block bearing*

dan akan dipasang *pressure gauge* serta *thermometer* agar dalam proses penyerapan panas dan berlangsungnya proses penyangraian, biji kopi bisa mendapatkan panas yang merata sekaligus menghasilkan biji kopi sangrai yang baik sesuai dengan permintaan pasar yaitu mencapai tingkatan *light roast*.

II. METODE PENELITIAN

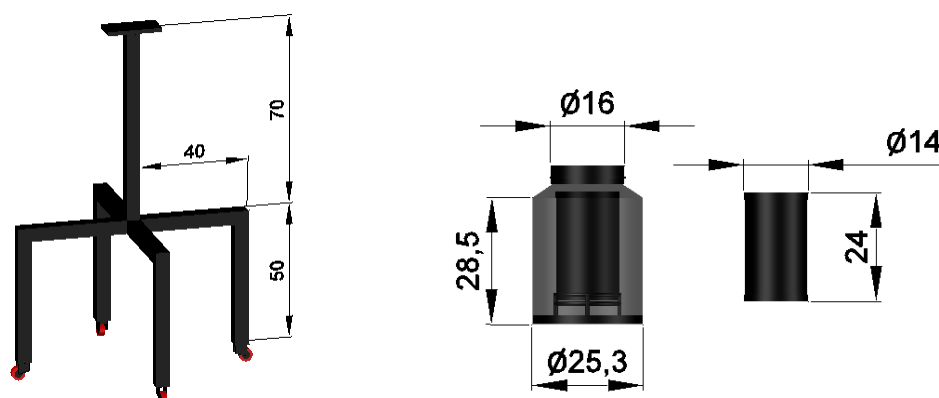
Keseluruhan sistem dalam pengujian baik komponen dan alat diharapkan dapat terealisasi sesuai rencana. Untuk itu agar mencapai tujuan yang diharapkan, dibuatlah suatu metode yang digambarkan dengan diagram alur di bawah ini:

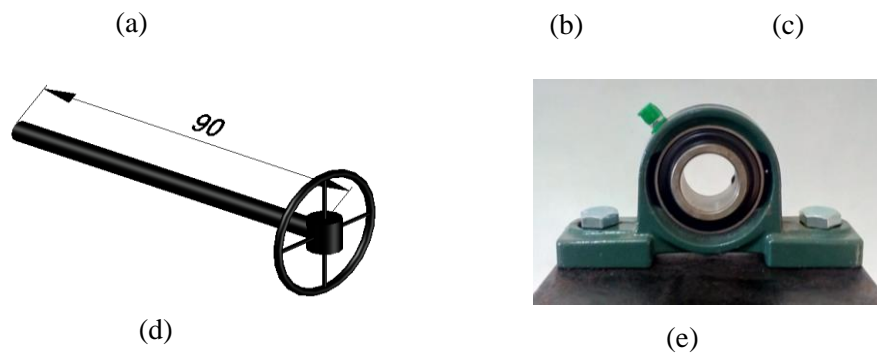


Gambar 2.1. *Flowchart* Alat Roaster Kopi Tanpa Listrik

Tahap awal dalam rancang bangun *Roaster* Kopi Tanpa Listrik adalah tahap persiapan. Dalam tahap ini mencari dan mempelajari beberapa pustaka terkait dengan kolektor surya dengan jenis *Evacuated Tube Solar Collectors*. Tahap berikutnya adalah realisasi alat, yang meliputi tahap realisasi disain dengan membuat gambar disain alat *roaster* kopi tanpa listrik dengan penentuan komponen dan bahan yang dibutuhkan di dalamnya. Persiapan dengan pemasangan komponen, pengelasan, dan pembuatan pompa vakum manual. Perakitan alat dari bahan konduktor, tabung kaca, poros, *bearing*, dan alat ukur. Kemudian pada tahap ketiga akan dilakukan pengujian komponen dan alat, untuk mendeteksi terjadinya kesalahan agar dapat diperbaiki atau disempurnakan sesuai dengan disain yang diharapkan melalui tahap pengujian *troubleshooting*.

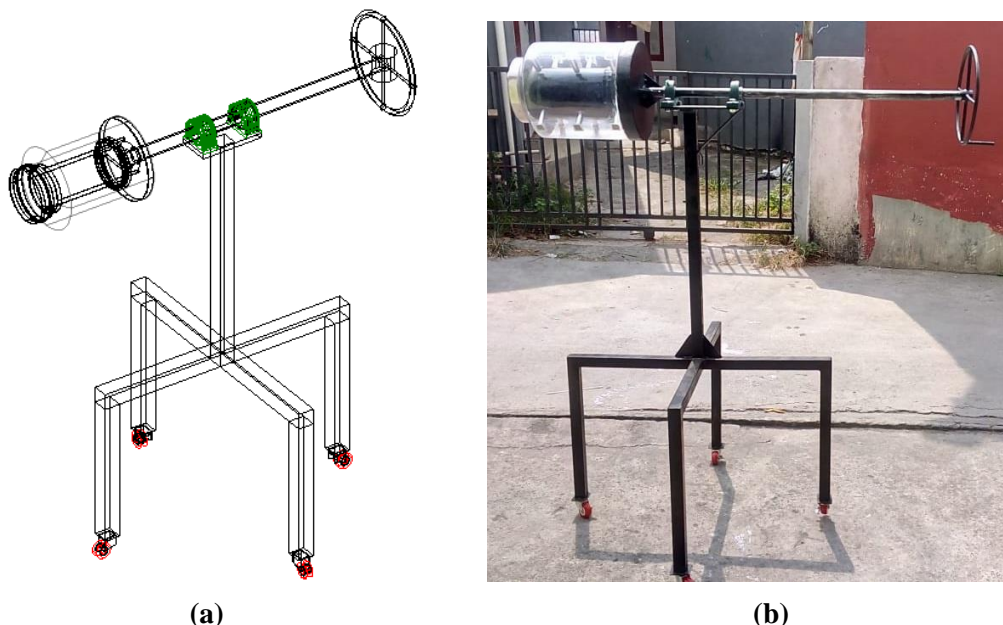
Perancangan Alat *Roaster* Kopi Tanpa Listrik





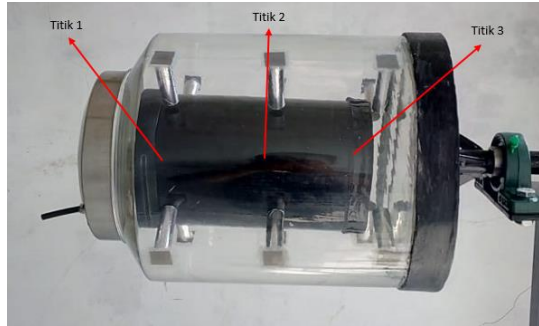
Gambar 2.2. Komponen dan Bahan Alat *Roaster* Kopi Tanpa Listrik

Dalam perancangan pembuatan alat *roaster* kopi tanpa listrik digunakan bahan besi *hollow* 30 x 30 mm dengan panjang dan disain seperti Gambar 2.2 (a) dengan ketebalan 3 mm. Sebagai tempat masuknya sinar matahari digunakan tabung kaca dengan ukuran dan bentuk seperti Gambar 2.2 (b). Tabung plat konduktor yang digambarkan pada Gambar 2.2 (c) menggunakan bahan plat aluminium datar ukuran 24 x 44 cm dengan tebal 0,3 mm yang dirancang mampu menampung biji kopi hingga 2 kg. Kemudian sebagai pemutar tabung, digunakan pipa besi ukuran panjang 90 cm, tebal 2 mm dengan disain seperti Gambar 2.2 (d), dan dibantu dengan 2 *pillow block bearing* seperti Gambar 2.2 (e) dengan ukuran untuk diameter poros 1 inch.



Gambar 2.3. (a) Disain Teknologi yang Hendak Diterapkembangkan; (b) Realisasi Rancangan yang Dibuat

Setelah komponen dan alat yang digunakan di dalam *Roaster* Kopi Tanpa Listrik telah berjalan sesuai dengan disain yang diharapkan, maka akan dilanjutkan dengan tahap analisis. Pada tahap ini dilakukan beberapa pengujian, baik pengujian keefektivitasan alat ini dalam mendapatkan derajat temperatur yang diharapkan dan pengujian pada biji kopi yang dapat dihasilkan.



Gambar 2.4. Titik Pengujian Temperatur yang Dilakukan Pada Tabung Plat Konduktor

Beberapa data yang akan diambil untuk di analisa adalah temperatur tabung kaca dalam menerima energi matahari melalui radiasi, temperatur tabung plat konduktor pada 3 titik yang berbeda (sisi kiri, tengah, sisi kanan) dan beberapa data tekanan vakum sebagai mencari pengaruhnya dalam upaya mendapatkan tekanan yang sesuai dengan hasil temperatur alat yang diharapkan. Daya input yang dihasilkan dari pengujian dihitung dengan menggunakan persamaan (2.1)

$$Q_{input} = \epsilon_1 \sigma_1 A_1 (T_1^4 - T_2^4) \quad (2.1)$$

Dimana Q adalah kalor yang dihasilkan dalam proses radiasi, ϵ adalah emisivitas, σ adalah konstanta Stefan-Boltzmann yang bernilai konstan sebesar $5,67 \times 10^{-8} [(W/m^2) \cdot K^4]$, A adalah luas permukaan sinar radiasi, T_1 adalah temperatur tabung plat konduktor sedangkan T_2 adalah temperatur lingkungan.

Kalor yang hilang dari sistem dapat dihitung dengan persamaan (2.2). Hal ini dikarenakan temperatur pada dinding kaca dan tabung plat konduktor diukur. Konduktivitas termal, ketebalan, dan area dari dinding yang terbuat dari styrofoam diketahui [8].

$$Q_{output} = k \frac{A}{l} \Delta T \quad (2.2)$$

Dengan telah diketahuinya informasi dari kalor yang hilang, maka efisiensi dapat diketahui dengan persamaan (2.3).

$$\eta = \frac{Q_{input} - Q_{output}}{Q_{input}} 100\% \quad (2.3)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Uji Pengaruh Panas yang Didapat dengan Keadaan Tidak Vakum

Tabel 3.1. Uji Coba Dengan Keadaan Tidak Vakum

Tekanan	Waktu (WIB)	Tlingkungan (°C)	Ttabung Kaca (°C)	Ttabung Plat 1 (°C)	Ttabung Plat 2 (°C)	Ttabung Plat 3 (°C)	Rata-Rata Ttabung Plat (°C)
Normal [1 atm]	11:00 – 11:25	30,6	41,6	42,1	43,8	42,3	42,73
	11:25 – 11:50	31,2	43	42,3	43,5	42,4	42,73
	11:50 – 12:15	31,5	40,9	42,8	43,5	42,5	42,93
	12:15 – 12:40	32,4	42,6	42,7	43,4	42,8	42,97
	12:40 – 13:05	31,9	43,3	43,1	43,3	42,6	43
	13:05 – 13:30	32,1	42,2	43,1	43,9	43,1	43,37
	13:30 – 13:55	32,1	42,9	43	43,9	43,3	43,4
	13:55 – 14:20	32,3	42,9	42,8	43,9	42,8	43,17
14:20 – 14:45	32,3	42,9	42,9	43,4	42,6	42,97	

Keterangan: Lokasi titik pengujian temperatur tabung plat 1, 2 dan 3 terdapat pada gambar 2.4.

Berdasarkan Tabel 3.1 di atas, terlihat bahwa dalam keadaan tidak vakum atau dengan tekanan tabung kaca berada pada tekanan 1 atm, tabung kolektor hanya bisa mendapatkan kenaikan temperatur sebesar 11,2°C dengan perbandingan yang dilakukan adalah pada temperatur lingkungan sekitar pengujian dengan temperatur rata-rata pada ketiga titik pengambilan data pada tabung plat konduktor. Pengujian dimulai pada hari pertama pukul 11:00 WIB dengan rentang waktu disetiap 25 menit dengan tujuan agar dapat memberikan waktu perpindahan panas secara konduksi pada temperatur tabung plat konduktor secara merata di ketiga titik. Dalam pengujian ini dapat diketahui bahwa kenaikan temperatur tersebut hanya didasari pada koefisien termal dari bahan konduktor yang digunakan yaitu plat aluminium.

b. Hasil Uji Pengaruh Panas yang Didapat dengan Keadaan Vakum

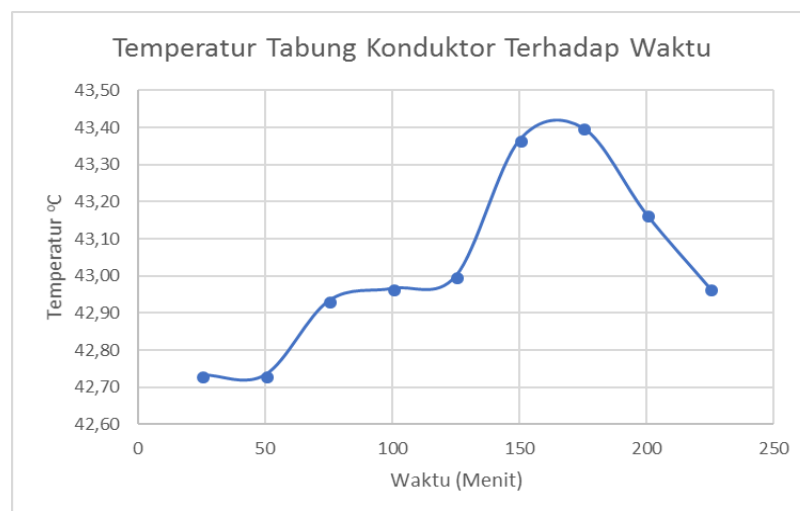
Tabel 3.2. Uji Coba Dengan Keadaan Tekanan Vakum

Tekanan (- inHg)	Waktu (WIB)	Tlingkungan (°C)	TTabung Kaca (°C)	TTabung Plat 1 (°C)	TTabung Plat 2 (°C)	TTabung Plat 3 (°C)	Rata-Rata TTabung Plat (°C)
5	11:00 – 11:25	32	62,5	70,8	75,6	71,2	72,53
8	11:25 – 11:50	32,2	61,8	72,4	77,3	72,4	74,03
10	11:50 – 12:15	31,8	60,9	72,5	77,1	72,7	74,1
13	12:15 – 12:40	30,6	63,3	72,1	78,6	72,1	74,27
15	12:40 – 13:05	32,4	62,8	72,3	77,8	72,1	74,07

Keterangan: Lokasi titik pengujian temperatur tabung plat 1, 2 dan 3 terdapat pada gambar 2.4.

Setelah melihat tabel 3.2 di atas, dapat terlihat bahwa dengan keadaan tabung kolektor yang vakum dapat menghasilkan temperatur terbesar hingga 78,6°C dengan temperatur rata-rata pada ketiga titik pengambilan data di tabung plat konduktor sebesar 73,8°C. Dan kenaikan yang bisa didapatkan dengan perbandingan temperatur lingkungan sekitar adalah 42°C. Pengujian ini dilakukan pada hari kedua yang dimulai pada pukul 11:00 WIB dengan rentang waktu 25 menit sekali di setiap tahapan pengujiannya, dan tekanan vakum dibatasi hanya sampai -15 inHg untuk mencegah pecahnya tabung kaca. Setelah melakukan pengujian ini maka dapat diketahui adanya pengaruh kevakuman tabung kaca sebagai media wadah pengisolasi suatu ruang dengan derajat temperatur yang dapat dihasilkan, dimana semakin tinggi nilai tekanan vakum maka akan diikuti dengan kenaikan temperatur pada plat konduktor.

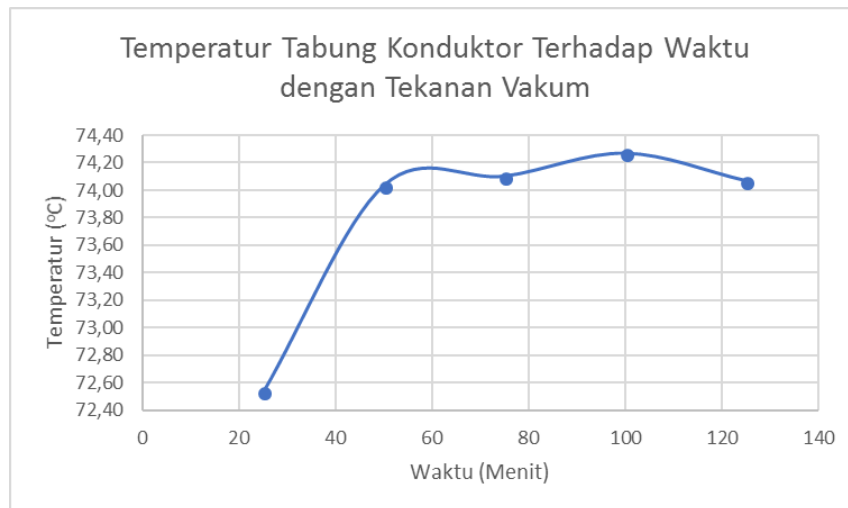
c. Hasil Uji Temperatur Pada Keadaan *Steady* Terhadap Waktu yang Dibutuhkan dengan Tidak Vakum



Gambar 3.1. Keadaan *Steady* Tabung Konduktor Saat Tidak Vakum

Dalam pengujian yang dilakukan setiap rentang waktu 25 menit, didapatkan titik temperatur 43,37°C – 43,4°C pada pengujian ke-6 dan ke-7 saat 150 menit dan 175 menit pengujian adalah puncak *steady* yang bisa didapatkan. Hal ini mengacu pada titik kritis yang didapat dengan penurunan temperatur pada rentang waktu 25 menit hingga 225 menit pengujian. Hal tersebut didasari pada kenaikan intensitas cahaya matahari yang berada di lokasi pengujian pada jam 13:00 WIB hingga 14:00 WIB.

d. Hasil Uji Temperatur Pada Keadaan *Steady* Terhadap Waktu yang Dibutuhkan dengan Keadaan Vakum



Gambar 3.2. Keadaan *Steady* Tabung Konduktor dengan Keadaan Vakum

Pada Gambar 3.2 dapat ditunjukkan dengan keadaan vakum, temperatur *steady* yang dihasilkan dapat dikatakan terjadi pada rentang waktu yang lebih cepat, yaitu saat pengujian kedua pada waktu pengujian berjalan 50 menit hingga 125 menit sudah didapatkan titik temperatur *steady* pada kisaran temperatur 74,03°C hingga 74,27°C. Hal ini didasari dengan adanya perbedaan tekanan, maka proses kehilangan panas secara konveksi dengan udara semakin mengecil dan membuat panas dari sinar matahari akan lebih cepat masuk kedalam sistem dan mempercepat kenaikan temperatur di tabung plat konduktor.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian alat *roaster* kopi tanpa listrik dengan menerapkan jenis *evacuated tube solar collectors* didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- Pada pengujian alat saat keadaan tekanan normal didapati kenaikan temperatur yang terjadi hanya sebesar 11,2°C dengan membandingkan temperatur lingkungan sekitar dan temperatur yang didapatkan pada tabung plat konduktor.
- Saat tabung kaca diberi tekanan vakum kenaikan temperatur plat konduktor yang dapat dihasilkan terhadap temperatur lingkungan adalah 42°C
- Tabung kolektor yang diberikan tekanan vakum memiliki efisiensi lebih baik dibanding dengan keadaan tekanan normal, dengan 73,28% untuk keadaan vakum sedangkan 44,34% untuk tidak vakum.
- Waktu untuk mencapai titik *steady* pada keadaan tidak vakum membutuhkan waktu yang lebih lama yaitu 150 menit dibandingkan untuk tabung kolektor vakum yang hanya membutuhkan waktu 50 menit.

V. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Pendidikan Tinggi yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Kreativitas Mahasiswa Tahun 2018 pada bidang Karsa Cipta.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kementerian Pertanian. 2016. *Outlook Kopi: Komoditas Pertanian Subsektor Perkebunan*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian Sekretariat Jenderal-Kementerian Pertanian.
- [2] Rozi Wiranata. 2016. *Pengaruh Tingkat Penyangraian Terhadap Karakter Fisik dan Kimia Kopi Robusta (Coffea canephora. L)*. Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- [3] Mulato S. 2002. *Mewujudkan Perkopian Nasional yang Tangguh Melalui Diversifikasi Usaha Berwawasan Lingkungan dalam Pengembangan Industri Kopi Bubuk Skala Kecil Untuk Meningkatkan Nilai Tambah Usaha Tani Kopi Rakyat Denpasar*. Pusat Penelitian Kopi dan Kakao Indonesia, 16-17 Oktober 2002.

- [4] Fadly Rian A, Mulfi Hazwi. 2014. *Rancang Bangun Prototype Kolektor Surya Tipe Plat Datar Untuk Penghasil Panas Pada Pengering Produk Pertanian dan Perkebunan*. Jurnal e-Dinamis Vol. 8, No. 4, Maret 2014.
- [5] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. 2004. *Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Pengembangan Energi Hijau)*. Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral No. 0002 Tahun 2004, hal 5.
- [6] Philip Kristanto, James Laeyadi. 2000. *Kolektor Surya Prismatic*. Jurnal Teknik Mesin Vol. 2, No.1, April 2000, hal 22-28.
- [7] Jack P. Holman. 1997. *Heat Transfer, Sixth Edition*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [8] Duffie John, Beckman William. 1991. *Solar Engineering for Thermal Process*, John Willey dan Sons, New York.
- [9] Stephanie Rawi. 2014. *Pengembangan dan Studi Tabung Solar Kolektor dengan Pipa Kalor Ganda untuk Meningkatkan Efisiensi Solar Water Heater*. Jurnal Departemen Teknik Mesin FTUI.