

PERHITUNGAN EFISIENSI ENERGI MESIN PENGERING VAKUM PADA BERBAGAI TEMPERATUR (0, -5)° C DENGAN KEVAKUMAN 0,03 ATM

Pratomo Setyadi, Darwin Rio B.S, Catur Setyawan K.H, Imam W, A. Tohir, A. Faturohman
Rekayasa Keselamatan Kebakaran, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Jakarta
psetyadi@unj.ac.id

Abstract

Vacuum Dryer is a Vacuum Drying Machine that uses a vacuum drying method to remove water content from the material being dried. It works by lowering the partial pressure of water vapor from the air in the dryer chamber. The purpose of this study is to test the performance of the vacuum dryer for the drying process of probiotic drinks at two different temperature variations. To then calculate the energy efficiency value of its vacuum dryer. The method used in this study is an experimental method. In order to test the Vacuum Drying Machine 5 times at each temperature variation to dry yakult specimens from a volume of 8 ml to 0.8 ml at a temperature of 0 and minus 5 degrees celcius with conditions vacuum chamber 0.03 atm. The Parameters observed in this study include temperature, pressure, humidity of the dryer chamber, length of time of the drying process, drying rate and energy required to evaporate the moisture content of the material and energy used by the vacuum dryer in total. Based on the calculation results of the data obtained from 5 experiments at each test temperature. It is found that the average value of the energy efficiency of the vacuum dryer is 1.43% at a temperature of 0 degrees celcius and 0.62% at a temperature of minus 5 degrees celcius.

Keywords: Vacuum Drying, Machine Vacuum Dryer, Energy Efficiency

Abstrak

Vacuum Dryer merupakan mesin pengering vakum yang menggunakan metode pengeringan vakum guna mengeluarkan kandungan air dari bahan yang dikeringkan dengan cara menurunkan tekanan parsial uap air dari udara di dalam ruang pengering. Tujuan penelitian ini adalah melakukan uji kinerja alat pengering vakum untuk proses pengeringan minuman prebiotik pada dua variasi suhu yang berbeda, untuk kemudian dilakukan perhitungan nilai efisiensi energi alat pengering vakum tersebut. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu melakukan pengujian pada mesin pengering vakum sebanyak 5 kali pengujian pada tiap variasi suhu untuk mengeringkan spesimen yakult dari volume 8 ml hingga 0,8 ml pada suhu 0, dan minus 5 derajat celcius dengan kondisi ruangan vakum 0,03 atm. Parameter yang diamati pada penelitian ini meliputi suhu, tekanan, kelembaban ruang pengering, lamanya waktu proses pengeringan, laju pengeringan dan energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar air pada bahan maupun energi yang digunakan oleh alat pengering vakum secara total. Berdasarkan hasil perhitungan data data yang didapatkan dari 5 kali percobaan pada masing masing suhu pengujian, diperoleh nilai rata-rata efisiensi energi alat pengering vakum sebesar 1,43 % pada suhu 0 derajat celcius dan 0,62 % pada suhu minus 5 derajat celcius.

Kata kunci: Pengeringan Vakum, Mesin Vacuum Dryer, Efisiensi Energi

1. PENDAHULUAN (Introduction)

Perkembangan teknologi pengawetan terutama untuk industri bahan pangan dan farmasi pada saat ini menggunakan metode pengeringan dengan berbagai proses, yaitu pendinginan, sublimasi, evaporasi, dan vakum. Pengembangan teknologi pengawetan dijadikan sebagai salah satu alternatif penyimpanan dan transportasi sampel yang relatif murah dan praktis [1].

Pengeringan vakum merupakan metode pengeringan untuk mengeluarkan air dalam bahan yang dikeringkan dengan cara menurunkan tekanan parsial uap air dari udara di dalam ruang pengering. Tekanan parsial uap air di dalam ruang pengering yang lebih rendah dari tekanan atmosfer dapat berpengaruh terhadap kecepatan pengeringan, sehingga prosesnya

lebih singkat walaupun suhu yang digunakan lebih rendah daripada suhu yang digunakan pada saat pengeringan di dalam ruang pengering dengan tekanan atmosfer.

Untuk itu dibuatlah suatu alat pengering yang diharapkan bisa mengatasi kekurangan pada proses pengeringan konvensional. Alat pengering ini memanfaatkan udara bertekanan rendah dibawah tekanan atmosfer. Pemberian tekanan vakum pada ruang pengering akan menaikkan beda tekanan uap pada permukaan bahan dengan lingkungannya sehingga laju perpindahan massa uap air juga akan meningkat. Dengan demikian tekanan vakum dapat meningkatkan laju pengeringan[2].

Sistem pengeringan pada alat ini menggunakan udara vakum agar titik didih dari uap air mengalami penurunan, sehingga proses pengeringan dapat dilakukan pada suhu rendah. Alat pengering vakum ini sangat membantu produk-produk ini akan kehilangan aroma dan rasa apabila dikeringkan pada suhu tinggi. Metode pengeringan vakum memiliki kelebihan jika dibandingkan dengan metode konvensional diantaranya adalah proses pengeringan yang relatif lebih cepat dan produk yang dihasilkan memiliki kualitas yang sangat baik yaitu cita rasa, tekstur dan kandungan gizi produk yang dikeringkan tidak mengalami kerusakan. Alat pengering vakum ini sangat membantu produk-produk ini akan kehilangan aroma dan rasa apabila dikeringkan pada suhu tinggi.

Alat pengering vakum ini masih dalam tahap perkembangan, sehingga diperlukan beberapa pengujian agar mesin ini dapat menjadi alat pengering yang efektif dan efisien. Berdasarkan hal tersebut, penulis melakukan penelitian mengenai energi yang digunakan secara total untuk mengoperasikan alat pengering vakum selama proses pengeringan pada suhu 0 dan -5° C dan energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kadar air yang terkandung pada spesimen bahan uji, serta perhitungan efisiensi energi mesin pengering vakum tersebut.

2. TINJAUAN LITERATUR (*Literature Review*)

Pengeringan merupakan proses pengeluaran air atau pemisahan air dalam jumlah yang relatif kecil dari bahan dengan menggunakan energi panas. Hasil dari proses pengeringan adalah bahan kering yang mempunyai kadar air setara dengan kadar air keseimbangan udara (atmosfir) normal atau setara dengan nilai aktivitas air (aw) yang aman dari kerusakan mikrobiologis, enzimatis dan kimiawi[3].

Pengeringan adalah proses penghilangan sejumlah air dari material. Dalam pengeringan, air dihilangkan dengan prinsip perbedaan kelembaban antara udara pengering dengan bahan makanan yang dikeringkan. Material biasanya dikontakkan dengan udara kering yang kemudian terjadi perpindahan massa air dari material ke udara pengering[3].

Pengeringan vakum terjadi ketika pemindahan uap air dari suatu bahan yang berlangsung pada tekanan rendah, yang menurunkan titik didih air dan perbedaan suhu antara media pemanas dan bahan lebih besar. Hal ini menghasilkan laju pengeringan lebih tinggi dan penggunaan panas lebih efisien[2].

Penggunaan kondisi udara vakum (dibawah tekanan 1 atm) bertujuan untuk menurunkan titik didih dari uap air. Sehingga proses pengeringan dapat dilakukan pada suhu

rendah. Proses pengeringan dengan kondisi vakum ini sangat cocok untuk pengeringan bahan yang tidak tahan pada temperatur yang tinggi[4].

2.1 Penguapan Vakum

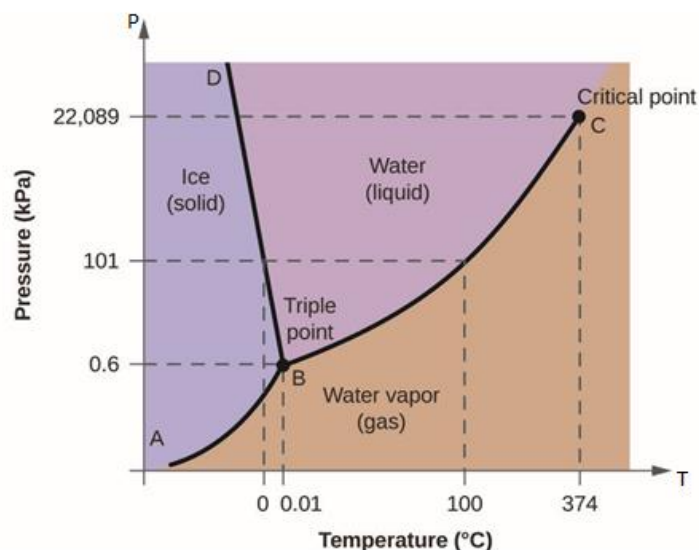
Evaporasi atau penguapan vakum merupakan proses penguapan material yang diuapkan dari padatan ke dalam bentuk molekul. Proses evaporasi vakum dapat dilakukan dalam sistem yang sudah vakum atau gas bertekanan rendah. Sistem dengan gas bertekanan rendah dapat mengurangi kontaminasi gas pada desposisi material yang diuapkan. Suhu dan tekanan dari suatu material saling berhubungan. Dimana semakin rendah keadaan vakum, semakin rendah pula temperatur lebur maupun didih suatu material[5].

Pengeringan vakum bersuhu rendah atau dalam banyak literatur *freeze vacuum drying* ini disebut liofilisasi. Liofilisasi merupakan proses pengeringan beku dengan proses sublimasi dan pengurangan kadar air suatu bahan atau spesimen [1].

2. Karakteristik Air

Karena proses utama dalam pengeringan adalah proses penguapan air, maka perlu terlebih dahulu diketahui karakteristik hidratisasi bahan pangan yaitu sifat-sifat bahan yang meliputi interaksi antara bahan pangan dengan molekul air yang dikandungannya dan molekul air di udara sekitarnya. Peranan air dalam bahan pangan dinyatakan dengan kadar air dan aktivitas air (a_w), peranan air di udara dinyatakan dengan kelembaban relatif (RH) dan kelembaban mutlak (H).[6]

1. Fase Air



Gambar 1. Diagram Fase Air
(Sumber : Quora.com)

Pada diagram fase air diatas dapat dilihat perubahan yang terjadi pada air dengan gambaran grafik tekanan terhadap temperature pada volume yang konstan. Bagian diagram antara titik B ke C menunjukkan tekanan pada uap temperature. Jika tabung dipanaskan kerapatan cairan menjadi berkurang dan kerapatan uap akan meningkat, sedangkan di titik C

pada diagram diatas nilai kedua kerapatannya sama. Titik C sendiri merupakan titik kritis dimana pada titik ini dan diatasnya tidak ada perbedaan antara cairan dengan gas yang disebut dengan *critical point*. Tetapi ada batas dimana air akan menjadi bentuk gas, padat, maupun cair yaitu pada titik yang disebut dengan *triple point* yang ditunjukkan pada grafik B, untuk air sendiri mempunyai temperatur titik *triple point* adalah $273,16\text{K} = 0,01^{\circ}\text{C}$ dan tekanan yaitu $1,58\text{ mmHg}$. Kurva BD pada gambar diatas menunjukkan kurva pelelehan yang memisahkan antara fasa cairan dengan fasa padatan. Pada bahan berupa air bila temperatur pelelehannya naik maka tekanannya naik, maka kurva BD miring kearah kiri atas dari titik *triple point*. [4]

2. Kadar Air Bahan

Kadar air suatu bahan atau spesimen menunjukkan banyaknya kandungan air per satuan bobot bahan. Pada penelitian ini dalam menentukan kadar air bahan berdasarkan bobot basah (*wet basis*) Persamaan yang digunakan ialah: [7]

$$\text{kadar air} = \frac{m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}}}{m_{\text{awal}}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Dimana:

Kadar air bb = kadar air berdasarkan basis basah (%)

m_{awal} = massa bahan sebelum pengeringan (g)

m_{akhir} = massa bahan setelah pengeringan (g)

2.3 Mesin Pengering Vakum

Mesin pengering vakum (*vacuum drying*) ialah mesin yang berfungsi untuk menurunkan kandungan air pada suatu bahan atau spesimen dan dilakukan pada kondisi temperatur rendah secara konstan (temperatur dapat diatur sesuai kondisi) [8].

Keunggulan penggunaan metode vakum dalam proses pengeringan dibandingkan dengan metode pengeringan konvensional ialah proses pengeringan yang berlangsung relatif cepat serta mampu menurunkan titik didih air, sehingga dapat mengeluarkan air dari bahan yang dikeringkan lebih cepat walaupun pada suhu yang rendah. Dengan tekanan vakum yang lebih rendah dari tekanan atmosfer, maka kandungan air pada bahan dapat menguap pada temperatur yang lebih rendah (titik didih air kurang dari 100°C). Hal ini membuat produk yang dikeringkan memiliki kualitas yang tetap terjaga dengan baik, karena tekstur, citarasa, dan kandungan gizi yang terkandung di dalamnya tidak rusak akibat suhu pengeringan yang tinggi [9].

2.3.1 Pompa Vakum

Pompa vakum adalah sebuah alat yang bertujuan untuk mengeluarkan molekul-molekul gas dari dalam ruangan tertutup untuk mencapai tekanan vakum [10]. Pada penelitian ini digunakan pompa difusi, di mana pompa difusi merupakan penyokong dari teknologi kevakuman tinggi. Pada bagian bawah pompa difusi terdapat pemanas yang mengandung oli

dan pada badan pompa terdapat pendingin. Oli tersebut dipanaskan dan akan menyebabkan terjadinya evaporasi atau penguapan. Lalu, uap oli dengan tekanan tinggi dipaksa melewati rakitan jet yang dipasang di dalam tubuh pompa. Uap tersebut mengalir dengan kecepatan supersonik. Penyebaran atau difusi dari molekul gas melewati jet mengenai dinding untuk mencegah terjadinya peluasan aliran uap. Pompa pendukung mengeluarkan muatan gas yang dipompa agar dibuang ke atmosfer [5].

2.3.2 Arduino Uno

Arduino adalah alat atau papan rangkaian elektronik *open source* yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah *chip* mikrokontroler dengan jenis AVR [11]. Arduino merupakan sebuah piranti atau sensor yang menggunakan mikrokontroler Atmega3264P. Teknologi ini sebagai pengganti alat-alat yang bisa menjadi sumber ralat dengan bebas dari sumber ralat. Dengan adanya Arduino dan program akuisisi data *excel*, pembacaan dan analisis data menjadi lebih mudah untuk pelaksanaan eksperimen [12].

2.3.3 Sensor BME280

Sensor BME280 adalah sensor digital yang dapat mengukur tekanan, suhu, ketinggian, dan kelembapan. Sensor BME280 dapat membaca pada ruangan vakum atau ruangan tertutup terhadap kelembapan udara, temperatur dan tekanan dengan input persentase pada kelembapan, Celsius untuk temperatur, dan pascal pada tekanan [11].

2.4 Efisiensi Energi Mesin Pengering Vakum

Efisiensi pengeringan dihitung berdasarkan perbandingan antara jumlah energi untuk menguapkan air bahan dengan energi yang dihasilkan dari energi listrik, unjuk kerja atau efisiensi pada umumnya dapat diekspersikan menjadi [13].

$$= \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \times 100\% \quad (2.1)$$

2.4.1. Energi Input (Q_{in})

Untuk menghitung nilai konsumsi besar energi listrik dapat menggunakan persamaan berikut:[13]

$$Q_{in} = Q_{Listrik} \times t \quad (2.2)$$

Keterangan:

Q_{in} : Energi listrik yang digunakan (kJ)

Q_L : Konsumsi energi listrik (kW)

"t : Lama waktu pemakaian energi listrik (detik)

2.4.2. Energi Output (Q_{Out})

Untuk menguapkan kandungan air yang terkandung pada bahan uji maka diperlukan adanya energi. Energi tersebut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:[13]

$$Q=E \times H_{lb} \quad (2.3)$$

Keterangan:

Q : Energi untuk menguapkan air bahan (kJ)

E : Beban uap air (Kg H₂O)

H_{lb} : Panas laten (kJ/kg) didapatkan dari tabel thermodinamika

Untuk menghitung besar beban uap air yang harus diuapkan alat pengering vakum selama proses pengeringan, dapat menggunakan persamaan berikut:[13]

$$E=M1-M2100100-M1(100-M2)\times Wd \quad (2.4)$$

Keterangan:

E : Beban uap air (kg H₂O)

M1 : Kadar air awal (% bb)

M2 : Kadar air akhir (% bb)

Wd : Massa bahan awal (kg)

2.4.3. Laju Pengeringan

Dalam proses pengeringan suatu bahan mempunyai arti penting yang menggambarkan tentang bagaimana kecepatan pengeringan berlangsung. Laju pengeringan ialah proses penurunan kadar air suatu bahan tiap waktu atau banyaknya jumlah air yang diuapkan tiap satuan waktu. Laju pengeringan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan: [8]

$$\text{Laju pengeringan} = \frac{M_{awal} - M_{akhir}}{t} \quad (2.6)$$

keterangan:

Laju pengeringan = laju pengeringan (g/menit)

m_{awal} = berat bahan sebelum kering (g)

m_{akhir} = berat bahan setelah kering (g)

t = waktu pengeringan (menit)

2.5. Yakult

Pada penelitian ini spesimen atau bahan uji yang dikeringkan adalah yakult. Yakult merupakan bahan pangan hasil fermentasi susu oleh bakteri asam laktat (*lactobacillus casei*) yang mempunyai cita rasa khas dengan rasa asam yang segar [14].

Yakult merupakan produk susu fermentasi yang umum dikonsumsi oleh masyarakat Indonesia. Yakult mengandung bakteri probiotik didalamnya, di mana bakteri probiotik merupakan bakteri yang dikonsumsi dalam keadaan hidup, bertahan hidup dalam saluran pencernaan setelah melalui rintangan enzim pada air liur, garam empedu dan asam lambung, mampu melekat pada saluran pencernaan dalam tubuh, tidak beracun dan tidak patogen. Penambahan bakteri probiotik ini bertujuan agar mempunyai efek fungsional bagi kesehatan. Minuman probiotik yang terbuat dari *L.casei* dapat menghambat pertumbuhan bakteri patogen *Staphylococcus aureus*, *Salmonella typhi*, dan *Escherichia coli* [15].

3. METODE PELAKSANAAN (*Materials and Method*)

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu alat pengering vakum dan bahan uji berupa larutan yakult dengan volume 8 ml dikondisikan sedemikian rupa sesuai kondisi yang diinginkan, khususnya mengenai temperature dan tekanan pada saat proses pengujian alat pengering vakum. Pada penelitian ini temperatur dan tekanan dikondisikan pada angka 0 dan -5°C , serta tekanan pada angka 0,03 atm atau 30 hPa. Temperatur dan tekanan tersebut terus menerus dimonitor menggunakan sensor BME 280 yang dihubungkan dengan *microcontroller Arduino uno* pada alat pengering vakum. Sensor tersebut akan mengirim informasi data berupa nilai suhu ($^{\circ}\text{C}$), kelembaban (%) dan tekanan (hPa) dari alat pengering vakum ke laptop melalui aplikasi *Microsoft Excel*. Selain itu parameter lain yang diukur adalah konsumsi energi listrik yang digunakan alat pengering vakum, diukur menggunakan *power meter*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN (*Results and Discussion*)

Dari data yang didapatkan dari hasil 5 kali percobaan untuk mengeringkan larutan yakult dengan volume 8 ml hingga 0,8 ml pada masing masing kondisi suhu dengan tekanan vakum yang sama yaitu 0,03 atm, diperoleh rata-rata lama proses pengeringan yang bervariasi. Proses pengeringan pada suhu 0°C membutuhkan waktu 969 menit dan pada suhu -5°C membutuhkan waktu selama 1217 menit.

4.1 Analisa Perhitungan

4.1.1 Kadar Air bahan

Kadar air awal bahan uji yang akan dilakukan proses pengeringan yaitu larutan yakult, dilakukan proses perhitungan menggunakan persamaan berikut,

$$\text{kadar air} = \frac{m_{\text{awal}} - m_{\text{akhir}}}{m_{\text{awal}}} \times 100\%$$

$$\text{kadar air} = \frac{8 \text{ gram} - 0,8 \text{ gram}}{8 \text{ gram}} \times 100\%$$

$$\text{kadar air} = 90 \%$$

4.1.2 Laju Pengeringan

Nilai laju pengeringan dihitung berdasarkan nilai massal awal bahan, massa akhir bahan dan lama waktu proses pengeringan. Berikut adalah hasil perhitungan nilai laju pengeringan pada tiga variasi suhu yang berbeda :

Tabel 1. Laju Pengeringan

No	Suhu Pengeringan (°C)	Waktu (Menit)	Laju Pengeringan (gram/menit)
1	0	969	0,0074
2	-5	1217	0,0058

Nilai laju pengeringan menggambarkan banyaknya jumlah air yang diuapkan tiap satuan waktu oleh alat pengering, dalam hal ini alat pengering vakum. Dari tabel 4.1, nilai laju pengeringan dipengaruhi oleh lama waktu yang dibutuhkan pada proses pengeringan. Nilai laju pengeringan terbesar didapat pada percobaan pengeringan menggunakan alat pengering vakum pada suhu 0°C yaitu sebesar 0,0074 gram per menit. Artinya, setiap satu menit alat pengering vakum dapat menguapkan kandungan air pada bahan sebanyak 0,0074 gram. Sedangkan nilai laju pengeringan terendah didapatkan pada percobaan menggunakan alat pengering vakum dengan kevakuman ruang pengering sama yaitu 0,03 atm, pada suhu -5°C dengan nilai laju pengeringan sebesar 0,0058 gram per menit. Atau dengan kata lain, setiap satu menit alat pengering vakum dapat menurunkan kandungan air bahan sebanyak 0,0058 gram.

4.2 Perhitungan Efisiensi Energi Mesin Pengering Vakum

4.2.1 Energi Input (Q_{in})

Pada penelitian ini energi input adalah energi listrik yang digunakan oleh alat pengering vakum selama proses pengeringan dan diukur menggunakan *power meter*. Energi listrik yang diukur meliputi energi listrik untuk mengoperasikan pompa vakum, kipas pendingin untuk proses pengeringan pada suhu beku yaitu suhu 0°C dan -5°C ditambah dengan pengukuran energi listrik yang digunakan untuk mengoperasikan freezer yang berfungsi untuk mengkondisikan suhu pengeringan agar mencapai suhu beku. Berikut ini merupakan hasil perhitungan energi input (Q_{in}) alat pengering vakum dari hasil 5 kali percobaan pada masing masing variasi suhu pengeringan.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Energi Input (Q_{in})

No	Suhu Pengeringan (°C)	Waktu (Menit)	Energi Input (Q_{in}) (kJ)
1	0	969	19.221,08

2	-5	1217	26.135,03
---	----	------	-----------

Berdasarkan tabel 4.2 Hasil perhitungan energi input, nilai energi input terbesar diperoleh pada proses pengeringan dengan suhu -5°C yaitu sebesar 26.135,03 kJ. Sedangkan nilai energi input lebih rendah didapat pada proses pengeringan dengan suhu 0°C . Nilai energi input ini dipengaruhi oleh lamanya waktu pengeringan. Semakin lama waktu pengeringan maka semakin besar nilai energi inputnya, semakin singkat lamanya proses pengeringan maka semakin kecil nilai energi inputnya. Selain itu faktor lain yang mempengaruhi besar kecilnya nilai energi input adalah kondisi bahan uji pada saat proses pengeringan. Proses pengeringan pada suhu beku membutuhkan energi input yang besar untuk menurunkan kadar air yang terkandung pada bahan, karena bahan berada pada fase solid atau beku. Hal ini mengakibatkan waktu yang diperlukan pada proses pengeringan menjadi lebih lama.

4.2.2 Energi Output (Q_{Out})

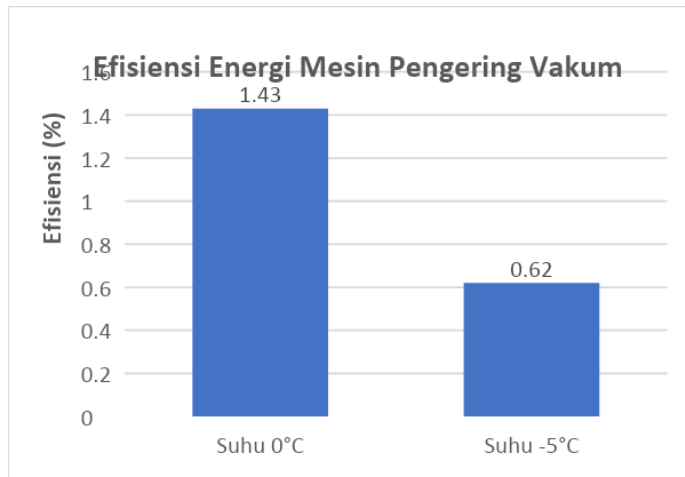
Energi output (Q_{Out}) pada penelitian ini ialah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan kandungan air pada bahan, dalam penelitian ini adalah larutan yakult pada masing masing kondisi suhu percobaan dengan kevakuman yang sama yaitu 0,03 atm. Nilai energi output ini dapat dihitung berdasarkan hasil perkalian nilai beban uap air dengan nilai panas laten pada masing masing suhu percobaan, yang dimana nilai panas laten ini didapatkan dari tabel Termodinamika yaitu tabel *saturate water* dan *saturate ice-water vapour*. Dari hasil perhitungan nilai energi output (Q_{Out}) diperoleh bahwa nilai energi yang dibutuhkan untuk menurunkan kandungan air bahan pada suhu 0°C dan -5°C adalah sebagai berikut:

Tabel 3. Hasil Perhitungan Energi Output (Q_{Out})

No	Suhu Pengeringan ($^{\circ}\text{C}$)	Energi Output (Q_{Out}) (kJ)
1	0	23,7403
2	-5	201,582

4.2.3 Efisiensi Energi

Efisiensi energi alat pengering vakum merupakan jumlah energi yang dibutuhkan untuk menguapkan air yang terkandung pada bahan uji dibagi dengan energi yang dihasilkan energi listrik untuk mengoperasikan alat pengering vakum selama proses pengeringan.



Gambar 2. Diagram Nilai Efisiensi Energi Mesin Pengering Vakum

Berdasarkan diagram 4.1 hasil perhitungan efisiensi energi mesin pengering vakum, nilai efisiensi energi lebih baik didapatkan pada percobaan proses pengeringan pada suhu 0°C yaitu sebesar 1,43 %. Sedangkan nilai efisiensi energi pada percobaan pengeringan dengan suhu -5°C hanya sebesar 0,62 %.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil analisa dan pembahasan data hasil percobaan proses pengeringan pada berbagai variasi suhu pengeringan yaitu pada suhu 0°C dan -5°C dengan kevakuman ruang pengering yang sama, yaitu 0,03 atm. Diperoleh nilai efisiensi energi mesin pengering vakum sebagai berikut 1,43 % dan 0,62 %. Nilai efisiensi energi mesin pengering vakum pada percobaan dengan suhu -5°C lebih rendah, hal tersebut dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah waktu pengeringan yang lebih lama sehingga membuat energi input yang dibutuhkan untuk mengoperasikan mesin pengering vakum menjadi lebih besar dibandingkan pada percobaan dengan suhu 0°C.

6. DAFTAR PUSTAKA (*References*)

- A. Asgar, S. Zain, A. Widyasanti, and A. Wulan, "Kajian Karakteristik Proses Pengeringan Jamur Tiram (*Pleurotus sp.*) Menggunakan Mesin Pengering Vakum," *J. Hortik.*, vol. 23, no. 4, p. 379, 2016, doi: 10.21082/jhort.v23n4.2013.p379-389.
- A. J. Nathan and A. Scobell, "How China sees America," *Foreign Aff.*, vol. 91, no. 5, pp. 45–52, 2012, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- A. S. Margana and D. Oktaviana, "Kaji Eksperimental Pemanfaatan Panas Kondenser pada Sistem Vacuum Drying untuk Produk Kentang," *Semin. MASTER PPNS*, vol. 1509, pp. 115–120, 2017.
- A. S. Suharyono And M. Kurniadi, "Pengaruh Konsentrasi Starter *Streptococcus Thermophilus* Dan Lama Fermentasi Terhadap Karakteristik Minuman Laktat Dari

- Bengkuan (Pachyrrhizus Erosus),” *J. Teknol. Has. Pertan.*, Vol. 3, No. 1, P. 51, 2010, Doi: 10.20961/Jthp.V0i0.13626
- A. Sinatryo, “Pengaruh temperatur terhadap tingkat kevakuman akhir dalam rancangan sistem evaporasi vakum.pdf.” Malang, 2020.
- D. Irawan, J. Teknik, M. Fakultas, T. Universitas, and M. Metro, “Penggunaan Alat Kompresor Pada Motor Bakar Torak,” no. 116.
- E. Suhendar and D. D. Novita, “Uji Kinerja Alat Pengering Tipe Rak Pada Pengeringan Chip Sukun Menggunakan Energi Listrik Test Performance of Rack-Dryer for Drying Chips,” *J. Tek. Pertan. Lampung (Journal Agric. Eng.*, vol. 6, no. 2, pp. 125–132, 2017.
- E. Sulistya, “Penggunaan Arduino dan Sistem Akuisisi Data Excel Pada Praktikum Kesetaraan Kalor Listrik,” *J. Fis. Indones.*, vol. 22, no. 2, p. 12, 2020, doi: 10.22146/jfi.v22i2.40031.
- I. Martiansyah and R. a. Putranto, “Pemanfaatan teknologi liofilisasi (freeze drying) dalam pengawetan sampel,” *peneliti PPBBI*, vol. 5, no. 1, pp. 15–17, 2017.
- M. S. Muhamaddiyah, B. I. Setiawan, Erizal, L. O. Nelwan, and N. Nugroho, “Rekayasa Mesin Pengering Metoda Vakum dengan Suhu dan Tekanan Terkendali,” *J. Tek. Mesin*, vol. 15, no. June 2016, pp. 1–8, 2012.
- N. Kholis, “Perancangan, Simulasi CFD dan Eksperimen Pengering Semprot: Perbandingan Antara Pemanas Listrik dengan Pemanas Refrijerasi dan Dehumidifer,” 2010.
- N. Razzaaq, N. Azhiim, and M. D. Atmadja, “Implementasi Sistem Monitoring HVAC Ruang Server Menggunakan Raspberry PI Berbasis Web (Studi kasus pada PT . Rahajasa Media Internet Surabaya),” *J. JARTEL*, vol. 9, no. 2, pp. 86–92, 2019, [Online]. Available: <http://jtdjurnal.polinema.ac.id/index.php/jtd/article/view/138>.
- P. Setyadi and M. Erdin, “Rancang Bangun Mesin Pengering Pengawetan Bahan MikroBiologi Dengan Metode Vacuum Drying,” pp. 10–18, 2019.
- S. T. Soekarto and D. R. Adawiyah, “Keterkaitan Berbagai Konsep Interaksi Air dalam Produk Pangan,” *J. Teknol. dan Ind. Pangan*, vol. XXIII, no. 1, pp. 107–107, 2012.
- Z. Efendi, *Pengaruh Kelembaban Relatif (Relative Humidity) Terhadap Laju Perpindahan Massa Pada Proses Pengeringan*. 2019.