

Analisis Efektivitas Alat Alat Penukar Panas pada Sistem Pengeringan Daun Teh Hitam

Rosa Oktaviani

Jurusan Kimia, Universitas Pendidikan Indonesia

Article Info

Article history:

Received January 7, 2024

Accepted January 9, 2025

Published January 10, 2025

Keywords:

Alat penukar panas

Teh hitam

Sistem pengeringan

ABSTRACT

Daun teh merupakan bahan baku utama dalam produksi teh hitam, dan kualitas serta karakteristik daun teh memiliki dampak langsung terhadap kualitas akhir dari teh yang dihasilkan. Kualitas hasil pengeringan. Daun teh yang dikeringkan harus mempertahankan aroma, rasa, dan kualitas organoleptik yang diharapkan oleh konsumen. Pengeringan yang tidak tepat dapat mengakibatkan kerusakan terhadap karakteristik rasa dan aroma daun teh, yang dapat berdampak negatif pada penjualan dan reputasi merek. Dalam tahap penelitian ini, kajian literatur dilakukan dengan pendekatan yang sistematis, dengan merujuk kepada berbagai sumber yang tersedia dalam berbagai basis data penelitian. Hasil penelitian ini adalah memperlihatkan bahwa penggunaan penukar panas untuk memulihkan panas dapat menghasilkan pengurangan sekitar 33% dari total energi yang diperlukan untuk proses pengeringan, yang pada gilirannya menyumbang hingga 80% dari semua konsumsi energi. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan penukar panas merupakan strategi yang sangat efektif, dengan potensi menjadi fokus utama dalam meningkatkan efisiensi energi untuk industri pengolahan teh hitam.



Corresponding Author:

Rosa Oktaviani

Jurusan Kimia, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. Dr. Setiabudi No.229, Isola, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat 40154

Email: *rosaov13@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Industri Teh Hitam adalah sektor ekonomi yang memiliki peran yang sangat penting dalam perekonomian banyak negara di seluruh dunia. Teh hitam adalah salah satu jenis teh yang paling banyak dikonsumsi di dunia dan menjadi minuman yang sangat populer. Industri teh hitam melibatkan seluruh rantai pasokan, dari penanaman, panen, pengolahan, hingga pemasaran produk akhir. Industri ini memberikan kontribusi signifikan terhadap lapangan kerja dan ekonomi di banyak negara, terutama di daerah-daerah yang terlibat dalam produksi teh [1]. Skala produksi dalam industri teh hitam sangat besar, dengan jutaan ton daun teh yang diproduksi setiap tahun. Proses produksi teh hitam melibatkan pengumpulan, pengeringan, penggulungan, fermentasi, pengeringan kembali, dan kemasan. Daun teh merupakan bahan baku utama dalam produksi teh hitam, dan kualitas serta karakteristik daun teh memiliki dampak langsung terhadap kualitas akhir dari teh yang dihasilkan.

Permintaan pasar untuk teh hitam terus meningkat, baik di dalam negeri maupun di pasar internasional. Ini disebabkan oleh minat yang terus tumbuh di lingkup masyarakat. Faktor-faktor ini lah yang menjadikan industri teh hitam sebagai salah satu yang terbesar di sektor makanan dan minuman [2].

Selain dampak ekonomi, industri teh hitam juga memiliki dampak sosial yang signifikan. Banyak komunitas dan petani yang terlibat dalam produksi teh hitam, dan pendapatan dari usaha ini sering kali menjadi tulang punggung ekonomi mereka. Selain itu, industri teh hitam juga memiliki dampak budaya dan tradisional yang penting di banyak negara di mana teh merupakan bagian integral dari kehidupan sehari-hari. Dengan demikian, industri teh hitam tidak hanya memainkan peran penting dalam ekonomi global, tetapi juga memiliki dampak yang luas pada aspek sosial dan budaya di berbagai negara.

Penting untuk terus meningkatkan efisiensi dan kualitas dalam semua tahap produksi teh hitam, termasuk dalam proses pengeringan daun teh, untuk menjaga daya saing industri ini dan memenuhi permintaan konsumen yang terus berkembang [3]. Pengeringan daun teh hitam adalah tahap kritis dalam proses produksi

teh yang memiliki sejumlah masalah dan tantangan yang perlu diatasi. Salah satu masalah utama adalah efisiensi energi. Proses pengeringan sering membutuhkan konsumsi energi yang tinggi, terutama jika metode pengeringan yang digunakan konvensional. Hal ini dapat berdampak negatif pada biaya produksi dan berkelanjutan, serta meningkatkan jejak karbon industri teh.

Masalah lainnya adalah kualitas hasil pengeringan. Daun teh yang dikeringkan harus mempertahankan aroma, rasa, dan kualitas organoleptik yang diharapkan oleh konsumen. Pengeringan yang tidak tepat dapat mengakibatkan kerusakan terhadap karakteristik rasa dan aroma daun teh, yang dapat berdampak negatif pada penjualan dan reputasi merek. Selain itu, dalam proses pengeringan, ada tantangan untuk memastikan bahwa daun teh mengering secara merata. Daun teh yang terlalu basah atau terlalu kering dapat mempengaruhi kualitas produk akhir. Pemantauan dan pengendalian yang tepat diperlukan untuk mencapai hasil yang konsisten. Aspek lingkungan juga merupakan masalah penting dalam proses pengeringan daun teh.

Penggunaan bahan bakar fosil dalam sistem pengeringan dapat berdampak negatif pada lingkungan dengan menghasilkan emisi gas rumah kaca[4]. Selain itu, penggunaan sumber daya alam dalam konstruksi dan operasi sistem pengeringan juga dapat menjadi masalah ketahanan lingkungan, terutama dalam daerah dengan sumber daya terbatas. Ketersediaan dan biaya energi juga menjadi masalah, terutama di daerah-daerah yang terpencil atau di negara-negara yang menghadapi tantangan dalam memastikan pasokan listrik yang stabil. Gangguan pasokan energi dapat mempengaruhi operasi pabrik pengeringan dan mengganggu produksi teh[5],[6].

Kebutuhan untuk terus memperbaiki dan mengembangkan metode pengeringan yang lebih efisien dan berkelanjutan menjadi sangat penting dalam menghadapi perubahan iklim global[7],[8]. Dalam mengatasi semua masalah ini, penelitian dan inovasi dalam teknologi pengeringan menjadi sangat penting. Perkembangan teknologi yang lebih efisien dalam penggunaan energi, pengendalian kualitas, dan pengelolaan dampak lingkungan akan membantu meningkatkan efisiensi dan berkelanjutan dalam industri pengeringan daun teh hitam.

Industri teh hitam menggunakan berbagai metode pengeringan untuk mengubah daun teh dari kondisi basah setelah panen menjadi produk kering yang dapat disimpan dan dikemas. Pengeringan dengan alat penukar panas adalah salah satu metode pengeringan yang telah digunakan secara luas dalam industri pengolahan daun teh hitam. Metode ini mengandalkan prinsip penukar panas konveksi, di mana panas dialirkan dari sumber panas ke daun teh yang akan dikeringkan. Alat penukar panas yang digunakan dalam proses ini dapat berupa berbagai jenis perangkat, termasuk penukar panas berpipa, penukar panas spiral, atau penukar panas berplat[9]. Prinsip dasar dari metode ini adalah mentransfer panas dari sumber panas ke daun teh dengan cara yang sangat efisien. Salah satu keunggulan utama dari pengeringan dengan alat penukar panas adalah efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa metode pengeringan lainnya. Penggunaan alat penukar panas memungkinkan panas yang telah digunakan untuk mengeringkan daun teh untuk disirkulasikan kembali, sehingga mengurangi konsumsi energi yang diperlukan dalam proses pengeringan[10].

Efektivitas metode pengeringan dengan alat penukar panas juga dapat ditingkatkan dengan pengaturan yang cermat dari berbagai parameter, termasuk suhu aliran udara, laju aliran udara, dan waktu pengeringan. Dengan mengoptimalkan pengaturan ini, produsen teh hitam dapat mencapai pengeringan yang lebih merata dan kualitas produk yang lebih baik. Pengeringan yang merata penting untuk mencegah kerusakan atau penurunan kualitas daun teh selama proses. Selain efisiensi energi, metode pengeringan ini juga membantu dalam menjaga kebersihan dan keamanan produk[11],[12]. Karena udara panas bersih dan bersirkulasi digunakan dalam proses ini, risiko kontaminasi daun teh dapat dikurangi. Selain itu, penggunaan panas yang tepat dalam metode ini dapat membunuh bakteri atau mikroorganisme patogen yang mungkin ada pada daun teh. Meskipun metode pengeringan dengan alat penukar panas memiliki banyak keunggulan, perlu diperhatikan bahwa investasi awal dalam peralatan penukar panas mungkin cukup tinggi. Namun, dalam jangka panjang, biaya operasi yang lebih rendah dan efisiensi energi yang lebih tinggi seringkali dapat mengkompensasi investasi awal ini. Dalam era peningkatan kesadaran akan isu-isu lingkungan dan keberlanjutan, pengeringan dengan alat penukar panas menjadi semakin relevan. Penerapan metode ini dengan memanfaatkan sumber panas terbarukan dan praktik berkelanjutan dapat membantu industri teh hitam berkontribusi pada pengurangan dampak lingkungan dan mencapai kualitas produk yang lebih baik[13]. Oleh karena itu, penelitian dan inovasi terus menerus dalam pengembangan teknologi penukar panas menjadi sangat penting dalam industri pengeringan daun teh hitam.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas alat penukar panas dapat ditingkatkan dalam sistem pengeringan daun teh hitam untuk mengurangi konsumsi energi dan dampak lingkungan. Ini akan berkontribusi pada upaya perlindungan lingkungan dan keberlanjutan dalam industri teh hitam[14],[15]. Dengan demikian, penelitian ini memiliki potensi untuk memberikan manfaat ekonomis, sosial, dan lingkungan yang signifikan bagi berbagai pemangku kepentingan. Oleh karena itu penulis sangat tertarik untuk membuat judul penulisan mengenai “Analisis Efektivitas Alat Penukar Panas Pada Sistem Pengeringan Daun Teh Hitam”.

2. METODE PENELITIAN

Dalam tahap penelitian ini, kajian literatur dilakukan dengan pendekatan yang sistematis, dengan merujuk kepada berbagai sumber yang tersedia dalam berbagai basis data penelitian. Proses seleksi literatur dilakukan dengan cermat dan memperhatikan langkah-langkah yang terperinci, mengikuti jejak pencarian yang luas melalui berbagai basis data yang relevan. Salah satu sumber yang digunakan adalah Google Scholar. Pencarian literatur dilakukan dengan menggunakan kata kunci yang telah ditetapkan, yang terkait erat dengan pertanyaan penelitian yang tengah diinvestigasi. Sejumlah kata kunci yang telah diidentifikasi menjadi dasar pencarian literatur, meliputi istilah-istilah seperti "alat penukar panas, daun teh hitam dan sejumlah konsep terkait lainnya.

Dalam proses ini, langkah awal melibatkan penentuan kata kunci yang sesuai dengan ruang lingkup penelitian. Kemudian, pencarian literatur dilaksanakan dengan cermat, memastikan bahwa sumber-sumber yang diambil berasal dari database yang kredibel dan relevan dengan bidang penelitian ini. Pencarian mencakup sejumlah sumber yang melibatkan artikel ilmiah, buku, jurnal, dan publikasi lainnya yang berfokus pada media sosial dan promosi. Dalam upaya menjaga kualitas dan relevansi, proses seleksi melibatkan analisis yang ketat terhadap setiap sumber yang ditemukan.

Selama tahap ini, penulis juga melakukan proses evaluasi terhadap setiap sumber yang telah ditemukan untuk memastikan bahwa literatur yang digunakan dalam penelitian ini berkualitas tinggi dan mendukung kerangka konseptual penelitian. Keseluruhan metode pencarian literatur ini dilaksanakan secara teliti dan sistematis untuk memastikan bahwa landasan teoritis penelitian ini kokoh dan relevan.

3. HASIL DAN ANALISIS

Sebagai data awal penelitian, dilakukan terlebih dahulu analisa potensi penghematan energi alat penukar panas untuk proses pengeringan teh hitam menurut [4]. Seperti diilustrasikan pada gambar di bawah ini, sistem pengeringan mempunyai empat komponen utama dengan dua input dan dua outputnya adalah sebagai berikut :



Gambar 1. Skema volume kendali pengering

1. Jalur masuk udara pengering (titik 1 dan 2)
2. Jalur masuk teh basah yang akan dikeringkan (titik 3)
3. Jalur keluar udara lembab yang mengandung uap air yang diambil dari teh basah (titik 4)
4. Hasil teh kering dengan tingkatat kelembapan yang dibutuhkan (titik 5)

Persamaan Keseimbangan Massa

Teh, air, dan udara adalah satu-satunya elemen yang perlu dipertimbangkan saat menulis persamaan keseimbangan unsur-unsur tersebut. Persamaannya masing-masing dapat ditulis sebagai berikut :

$$\text{Udara: } \dot{m}_{\text{udara}} = \dot{m}_{\text{udara}}(1) = \dot{m}_{\text{udara}}(2) = \dot{m}_{\text{udara}}(4) \quad (1)$$

$$\text{Air: } \dot{m}_{\text{udara}} x_1 + \dot{m}_{\text{air}}(3) = \dot{m}_{\text{udara}} x_4 + \dot{m}_{\text{air}}(5) \quad (2)$$

$$\text{Teh: } \dot{m}_{\text{Teh}} = \dot{m}_{\text{Teh}}(3) = \dot{m}_{\text{Teh}}(5) \quad (3)$$

Dimana x adalah rasio kelembapan udara

Selanjutnya persamaan keseimbangan massa total dapat dirumuskan dengan menggabungkan persamaan kesetimbangan massa total tiga persamaan di atas:

$$\dot{m}_{\text{udara}}(x_1 + 1) + \dot{m}_{\text{air}}(3) + \dot{m}_{\text{Teh}} = \dot{m}_{\text{udara}}(x_4 + 1) + \dot{m}_{\text{air}}(5) + \dot{m}_{\text{Teh}} \quad (4)$$

Persamaan keseimbangan energi

Persamaan keseimbangan energi dapat dinyatakan dengan mengambil masukan energi sama dengan energi keluaran ke pengering [3] :

$$\sum E_{\text{in}} = \sum E_{\text{out}} \quad (5)$$

$$E2 + E3 = E4 + E5 \quad (6)$$

$$E = m \cdot H \quad (7)$$

$$\text{dengan } E2 = E1 + Q \Rightarrow Q = E2 - E1 = m1(H2 - H1) \quad (8)$$

Dimana Q adalah kalor yang ditambahkan

$$m2H2 + m3H3 = m4H4 + m5H5 \quad (9)$$

$$m1H1 + Q + m3H3 = m4H4 + m5H5 \quad (10)$$

Dimana ,

$m1 = m2 = m$ udara($x1 + 1$), udara pengeringan (titik 1&2)

$m3 = m$ air(3) + m Teh, teh basah untuk dikeringkan (titik 3)

$m4 = m$ udara ($x4 + 1$), udara hasil pengeringan (titik 4)

$m5 = m$ air(5) + m Tea, teh kering (titik 5)

$H1 = Cp, \text{udara} \cdot T1 + x1 \cdot Cp, H2O(g) \cdot T1 + \lambda0 \cdot x1$

$H2 = Cp, \text{udara} \cdot T2 + x1 \cdot Cp, H2O(g) \cdot T2 + \lambda0 \cdot x1$

$H3 = Cp, \text{teh} \cdot T3 + x2 \cdot Cp, H2O(s) \cdot T3 + \lambda0 \cdot x3$

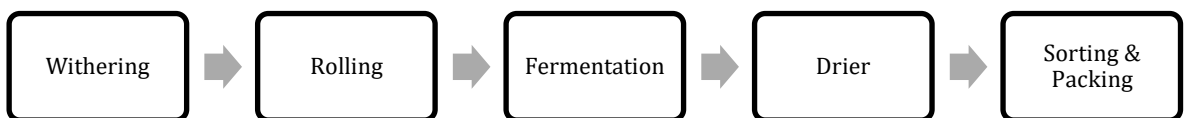
$H4 = Cp, \text{udara} \cdot T4 + x4 \cdot Cp, H2O \cdot T4 + \lambda0 \cdot x4$

$H5 = Cp, \text{teh} \cdot T5 + x5 \cdot Cp, H2O(s) \cdot T5 + \lambda0 \cdot x5$

Keterangan : $H1, H2, H4$: entalpi untuk teh lembab; $H3, H5$: entalpi untuk keseluruhan

Hasil Analisis

Berbagai tahapan proses produksi teh akan dijelaskan dengan tujuan untuk mengetahui penggunaan energi. Inventarisasi energi digunakan di seluruh rantai produksi teh membantu mengidentifikasi peluang efisiensi energi perbaikan.



Gambar 2. Aliran Proses dan Energi

Seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas, tahap pertama dalam pengering adalah ruang basah, tempat sebagian besar uap air dihilangkan dan ruang kering adalah tahap kedua. Setiap ruang diisi dengan sistem pasokan udara hangat individual untuk memenuhi kebutuhan suhu dan aliran udara di setiap bagian. Ada dua siklon yang ditempatkan di saluran pembuangan udara dari setiap bagian yang mengumpulkan partikel debu. Pengering tersebut memerlukan tekanan uap boiler minimal 9,0 bar dengan total daya tersambung 53 kw. Energi panas ke pengering disuplai oleh boiler berbahan bakar kayu.

Menurut data dari Pabrik Teh Ijenda, semua kondisi berikut harus dipenuhi selama proses pengeringan:

1. Suhu udara pengering masuk harus antara 120°C-130°C dan 100°C-120°C masing-masing untuk ruang basah dan ruang kering.
2. Temperatur udara buang harus antara 40°C-60°C untuk ruang basah sedangkan temperatur antara 80°C-90°C wajib untuk udara buangan dari ruang kering. Untuk kualitas terbaik, suhu udara buangan dari ruang basah harus serendah mungkin sedangkan udara buangan harus setinggi mungkin.
3. Kadar air sisa yang diinginkan adalah 2,5% namun nilai antara 2%-3% masih dapat ditoleransi. Deskripsi situasi operasi aktual disajikan pada bagian ini berdasarkan data terukur yang disediakan oleh pabrik teh.
 1. Massa daun teh fermentasi yang akan dikeringkan adalah 1200 kg/jam pada layu 68%.
 2. Massa teh yang dibuat adalah 390 kg/jam.
 3. Suhu udara pengering masuk masing-masing 120°C dan 100 °C untuk ruang basah dan ruang kering.
 4. Temperatur udara buang dan kelembaban relatif 43°C dan 75% untuk ruang basah sedangkan nilai tersebut adalah 86°C dan 4,5% untuk ruang kering
 5. Suhu udara sekitar dan kelembaban relatif 20°C dan 86%
 6. Laju aliran volume udara pada saluran masuk adalah 6 m³/s dan 5 m³/s masing-masing untuk ruang basah dan ruang kering
 7. Kadar air daun teh setelah proses pengeringan adalah 2,5%
 8. Waktu retensi dalam pengering antara 22–25 menit

Terlepas dari karakteristik udara sekitar (suhu dan RH) yang bervariasi setiap jamnya; parameter lainnya dapat dianggap sebagai simbol dari proses pengeringan. Pengering dikalibrasi untuk mengurangi kadar air daun teh menjadi 2,5%, yang berarti 97,5 % uap air diuapkan oleh pengering. Fase pengeringan pertama (ruang basah) bertanggung jawab atas 88% penguapan sedangkan fase kedua (ruang kering) menangani 9,5% sisanya. Hasil pada data analisis dirangkum pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Aktul

	Wet Chamber	Dry Chamber
Input		
Udara	$m1 = 6\text{ m}^3/\text{s}$ $T1 = 20^\circ\text{C}$ $RH = 86\%$	$m1 = 5\text{ m}^3/\text{s}$ $T1 = 20^\circ\text{C}$ $RH = 86\%$
Teh yang akan dikeringkan	$m3 = 1200\text{ kg/h}$ $T3 = 20^\circ\text{C}$ 68 % wither	$m3 = 482\text{ kg/h}$ $T3 = 43^\circ\text{C}$ 20,3 % moist
Suhu pengeringan	$T1 = 120^\circ\text{C}$	$T1 = 100^\circ\text{C}$
Output		
Udara	$m1 = 6\text{ m}^3/\text{s}$ $T1 = 43^\circ\text{C}$ $RH = 73\%$	$m1 = 5\text{ m}^3/\text{s}$ $T1 = 86^\circ\text{C}$ $RH = 4,5\%$
Teh kering	$m3 = 482\text{ kg/h}$ $T3 = 43^\circ\text{C}$ 20,3 % moist	$m3 = 390\text{ kg/h}$ $T3 = 86^\circ\text{C}$ 2,5 % moist

Menggunakan data masukan yang sama untuk proses sebenarnya dalam program simulasi MATLAB, diperoleh hasil, seperti pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Simulasi MATLAB Menggunakan Data Aktual

	Wet Chamber	Dry Chamber
Output		
Udara	$m1 = 6\text{ m}^3/\text{s}$ $T1 = 45.7^\circ\text{C}$ $RH = 73\%$	$m1 = 5\text{ m}^3/\text{s}$ $T1 = 89.6^\circ\text{C}$ $RH = 4,5\%$
Teh kering	$m3 = 482\text{ kg/h}$ $T3 = 45.7^\circ\text{C}$ 20,3 % moist	$m3 = 394\text{ kg/h}$ $T3 = 89.6^\circ\text{C}$ 2,5 % moist

Hasil dari simulasi berbeda dengan data yang diperoleh dan hal ini dikecualikan, karena program simulasi mengasumsikan sistem adiabatik yang sempurna tanpa kehilangan. Oleh karena itu, model baru diperlukan.

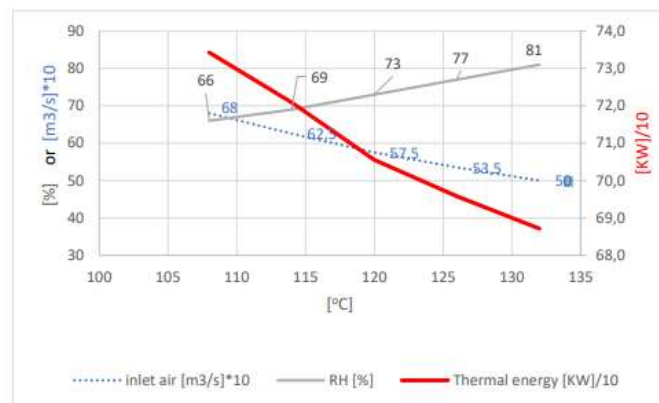
Untuk menciptakan kembali kondisi pengoperasian aktual (temperature & RH) untuk udara buangan di mesin baru model, aliran udara dan kelembaban relatif di saluran masuk berkurang dari $6\text{ m}^3/\text{dtk}$ menjadi $5,75\text{ m}^3/\text{dtk}$ dan 86% hingga 84% masing-masing untuk ruang basah. Untuk ruang kering, jumlahnya dikurangi dari $5\text{ m}^3/\text{dtk}$ hingga $3,6\text{ m}^3/\text{dtk}$ dan masing-masing 86% hingga 77,29. Hasil simulasi menggunakan MATLAB, seperti pada tabel 3

Tabel 3. Hasil Pengukuran Simulasi MATLAB Menggunakan Data Penyesuaian

	Wet Chamber	Dry Chamber
Input		
Udara	$m1 = 5.75\text{ m}^3/\text{s}$ $T1 = 20^\circ\text{C}$ $RH = 84\%$	$m1 = 3.6\text{ m}^3/\text{s}$ $T1 = 20^\circ\text{C}$ $RH = 77.29\%$

Teh yang akan dikeringkan	$\dot{m}_3 = 1200 \text{ kg/h}$ $T_3 = 20^\circ\text{C}$ 68 % wither	$\dot{m}_3 = 482 \text{ kg/h}$ $T_3 = 43^\circ\text{C}$ 20,3 % moist
Suhu pengeringan	$T_1 = 120^\circ\text{C}$	$T_1 = 100^\circ\text{C}$
Output		
Udara	$\dot{m}_1 = 5.75 \text{ m}^3/\text{s}$ $T_1 = 43^\circ\text{C}$ $RH = 73\%$	$\dot{m}_1 = 3.6 \text{ m}^3/\text{s}$ $T_1 = 86^\circ\text{C}$ $RH = 4,5\%$
Teh kering	$\dot{m}_3 = 482 \text{ kg/h}$ $T_3 = 43^\circ\text{C}$ 20,3 % moist	$\dot{m}_3 = 394 \text{ kg/h}$ $T_3 = 86^\circ\text{C}$ 2,5 % moist

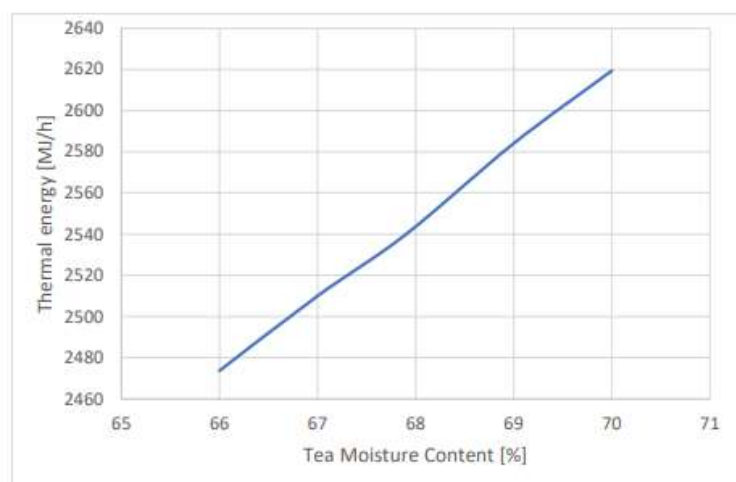
Aliran udara dan suhu pengeringan



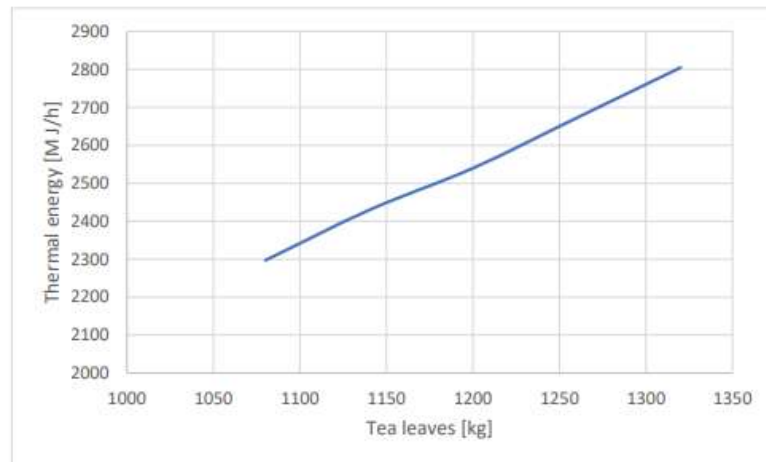
Gambar 3. Bagaimana suhu pengeringan, aliran udara masuk dan RH udara buang bervariasi selama pengeringan di ruang basah

Dari grafik di atas terlihat bahwa dengan semakin tinggi suhu pengeringan maka diperlukan inlet aliran udara berkurang. Hal ini menyebabkan berkurangnya energi panas yang dibutuhkan untuk pengering. Temperatur pengeringan yang lebih tinggi paling baik memanfaatkan kapasitas pengeringan udara panas, seperti dapat dilihat pada gambar nilai-RH udara buangan.

Kelembaban teh dan massa teh



Gambar 4. Energi Panas sebagai fungsi



Gambar 5. Energi panas berfungsi sebagai kadar air teh untuk ruang basah

Gambar 4 dan 5 menunjukkan, seberapa proporsional energi panas yang digunakan dalam proses pengeringan bervariasi tergantung pada jumlah daun teh yang akan dikeringkan dan kadar air yang diharapkan. Perhatikan bahwa grafiknya tidak berupa garis lurus, yang merupakan hasil dari masukan data yang dipilih dan variasinya yang kecil.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis studi literatur, ditemukan bahwa terdapat potensi untuk menghemat energi dalam proses pengeringan teh hitam dengan penerapan alat penukar panas. Data hasil penelitian memperlihatkan bahwa penggunaan penukar panas untuk memulihkan panas dapat menghasilkan pengurangan sekitar 33% dari total energi yang diperlukan untuk proses pengeringan, yang pada gilirannya menyumbang hingga 80% dari semua konsumsi energi. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan penukar panas merupakan strategi yang sangat efektif, dengan potensi menjadi fokus utama dalam meningkatkan efisiensi energi untuk

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arisudin, M. Yahya, and D. Erwanto, "Klasifikasi Aroma Teh Dengan Menggunakan Sensor Gas Berbasis Arduino Uno," *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, vol. 2, no. 02, pp. 115-127, Sep. 2021, doi: [10.31328/jasee.v2i02.198](https://doi.org/10.31328/jasee.v2i02.198)
- [2] G. Batubara, N. M. S. Y. Permai, and I. Widowati, "Analisis Pengendalian Kualitas Produk Teh Hitam Di PT. Perkebunan Tambi Unit Perkebunan Bedakah Kabupaten Wonosobo Jawa Tengah," *Jurnal Dinamika Sosial Ekonomi*, vol. 22, no. 1, p. 1, Aug. 2021, doi: [10.31315/jdse.v22i1.5371](https://doi.org/10.31315/jdse.v22i1.5371)
- [3] Cengel, Y. A. ;Boles, M. A, "Thermodynamics: An Engineering Approach," 2007
- [4] Irakoze, A., "Analysis of potential energy savings for black tea drying process. Case study: IJENDA Tea Factory," 2017.
- [5] Januar, M., Astuti, R., & Ikasari, D. M., "Analisis pengendalian kualitas pada proses pengeringan teh hitam dengan metode Six Sigma: studi kasus di PTPN XII (persero) Wonosari, Lawang, ". *Jurnal Teknologi Pertanian*, 15(1), 2014
- [6] D. I. Lelita, R. Rohadi, and A. S. Putri, "Sifat Antioksidatif Ekstrak Teh (*Camellia Sinensis* Linn.) Jenis Teh Hijau, Teh Hitam, Teh Oolong Dan Teh Putih Dengan Pengeringan Beku (Freeze Drying)," *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, vol. 13, no. 1, p. 15, Feb. 2013, doi: [10.26623/jtphp.v13i1.2372](https://doi.org/10.26623/jtphp.v13i1.2372)
- [7] D. Ramadian, R. A. Hidayat, and M. Yetrina, "Pengendalian Kualitas Proses Pengeringan Teh Hitam (Orthodoks) Menggunakan Metode Dmaic Di Pt. Perkebunan Nusantara Viii Kebun Gedeh Mas, Cianjur," *Jurnal PASTI (Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri)*, vol. 16, no. 1, p. 1, Apr. 2022, doi: [10.22441/pasti.2022.v16i1.001](https://doi.org/10.22441/pasti.2022.v16i1.001)
- [8] Nadia Illiyastia, I. Prakoso, and Ari Andriyas Puji, "Implementasi Pengendalian Kualitas pada Proses Pengeringan Teh Hitam (Orthodox) Menggunakan Metode Six Sigma (DMAIC) (Studi Kasus : PT. XY)," *Jurnal Surya Teknik*, vol. 10, no. 1, pp. 564-573, Jun. 2023, doi: [10.37859/jst.v10i1.4469](https://doi.org/10.37859/jst.v10i1.4469)

- [9] I. S. Nurminabari, "Pendugaan Umur Simpan Teh Hitam (*Camellia Sinensis*) Celup Grade Fanning Dalam Kemasan Primer Berbeda," *Pasundan Food Technology Journal*, vol. 8, no. 3, pp. 106-112, Nov. 2021, doi: [10.23969/pftj.v8i3.4648](https://doi.org/10.23969/pftj.v8i3.4648)
- [10] L. Purwanti, "Perbandingan Aktivitas Antioksidan Dari Seduhan 3 Merk Teh Hitam (*Camellia Sinensis* (L.) Kuntze) Dengan Metode Seduhan Berdasarkan SNI 01-1902-1995," *Jurnal Ilmiah Farmasi Farmasyifa*, vol. 2, no. 1, pp. 19-25, Feb. 2019, doi: [10.29313/jiff.v2i1.4207](https://doi.org/10.29313/jiff.v2i1.4207)
- [11] G. R. Putri, R. F. Lubis, and A. Yenita, "Analisis Pengendalian Mutu Kadar Air Teh Hitam pada Industri Pengolahan Teh," *INVENTORY: Industrial Vocational E-Journal On Agroindustry*, vol. 2, no. 2, p. 81, Dec. 2021, doi: [10.52759/inventory.v2i2.60](https://doi.org/10.52759/inventory.v2i2.60)
- [12] Y. Maghfiro, D. Damat, and H. A. Manshur, "Pengendalian Kualitas Proses Pengolahan Teh Hitam Ortodox Menggunakan Metode Dmaic Di Pt. Pagilaran," *AGRISAINTEFIKA: Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, vol. 7, no. 1, pp. 112-125, Jun. 2023, doi: [10.32585/ags.v7i1.3635](https://doi.org/10.32585/ags.v7i1.3635)
- [13] E. Supriyo and I. Pudjihastuti, "Konsentrasi Polyfenol pada Teh Hitam Celup Komersial Produksi Perkebunan Teh di Jawa Tengah," *METANA*, vol. 17, no. 2, pp. 55-60, Dec. 2021, doi: [10.14710/metana.v17i2.41776](https://doi.org/10.14710/metana.v17i2.41776)
- [14] E. Supriyo and S. N. Noviana, "Kandungan Mikroplastik Pada Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) yang Beredar di Semarang, Jawa Tengah," *METANA*, vol. 19, no. 2, pp. 69-78, Nov. 2023, doi: [10.14710/metana.v19i2.58548](https://doi.org/10.14710/metana.v19i2.58548)
- [15] G. Batubara, N. M. S. Y. Permai, and I. Widowati, "Analisis Pengendalian Kualitas Produk Teh Hitam Di PT. Perkebunan Tambi Unit Perkebunan Bedakah Kabupaten Wonosobo Jawa Tengah," *Jurnal Dinamika Sosial Ekonomi*, vol. 22, no. 1, p. 1, Aug. 2021, doi: [10.31315/jdse.v22i1.5371](https://doi.org/10.31315/jdse.v22i1.5371)