

EVALUASI KINERJA PROSES PENGERINGAN DI PABRIK TEH PT. PERKEBUNAN NUSANTARA VIII DAYEUH MANGGUNG

YANTI SUPRIANTI[†]

*¹Jurusan Teknik Konversi Energi, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga, Bandung, Jawa Barat*

Abstrak. Proses pengeringan teh merupakan proses yang memakan energi terbesar dari seluruh proses produksi teh, sekitar 84,36% dari total energi, yang alokasinya terutama digunakan untuk proses pemanasan. Proses ini berkaitan erat dengan pengelolaan pasokan panas yang harus terjaga dalam alat pengering agar produk teh dihasilkan dalam kondisi yang baik dengan pasokan energi yang optimal. Untuk itu, kondisi kinerja mesin pengering harus dipantau agar selalu dalam kondisi prima dan sesuai dengan standar. Evaluasi dilakukan terhadap mesin pengering PT. Perkebunan Nusantara (PTPN) VIII Unit Dayeuh Manggung yang bertipe *two stage dryer*. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa kinerja mesin pengering teh dimaksud adalah sebagai berikut: efisiensi zona pengeringan = 34,35%, efisiensi sistem pengeringan = 10,53% dan intensitas konsumsi energi alat pengering = 33,24 MJ/kg daun teh kering. Hasil ini menunjukkan konsumsi energi di mesin pengering teh ini terbilang boros dengan efisiensi di bawah *benchmark* industri yang berteknologi sama.

Kata kunci : teh, energi, pengeringan, kinerja, efisiensi, intensitas

Abstract. Tea drying process is the biggest energy consuming process of the whole tea production process, around 84.36% of total energy, which allocated mainly for heating process. During operation, heat supply must be well managed, so the drying machine can produce the tea products are in best quality by using optimal energy supply. For this reason, the performance of the dryer must be monitored, so that it operates in top condition and in accordance with the standards. The drying machine used in PT. Perkebunan Nusantara (PTPN) VIII Unit Dayeuh Mangung is two stage dryer type. Using the collected data, the performance of the tea drying machine in PTPN VIII Dayeuh Mangung Unit was calculated as follows: drying zone efficiency = 34.35%, drying system efficiency = 10.53%, and dryer energy consumption intensity = 33.24 MJ / kg dry tea leaves. This result showed that energy consumption in the tea dryer is still wasteful, with the efficiency below the benchmark of the same technology industry.

Keywords: tea, energy, drying, dryer, efficiency, intensity

1. Pendahuluan

Setiap tahapan proses pengolahan teh memerlukan sumber energi, seperti listrik, bahan bakar minyak berupa *industrial diesel oil* (IDO), dan biomassa. Pengolahan teh di PTPN VII Unit Dayeuh Manggung dimulai dengan pengumpulan bahan baku daun teh, dilanjutkan dengan penimbangan, pelayuan daun teh yang disimpan dalam rak-rak dan disemprot dengan udara dingin selama 12 hingga 16 jam dengan kondisi temperatur dan kelembapan yang terjaga sehingga tidak menghambat aktivitas enzim dalam daun teh. Selanjutnya adalah proses penggulungan, yaitu memelintirkan daun serta memotong dan mengeluarkan cairan melalui pemerasan, lalu penggilingan dengan mesin *Open Top Roller* (OTR) selama 30 hingga 40 menit [1]. Tahap selanjutnya adalah fermentasi atau oksidasi

[†] email : yanti.suprianti@polban.ac.id

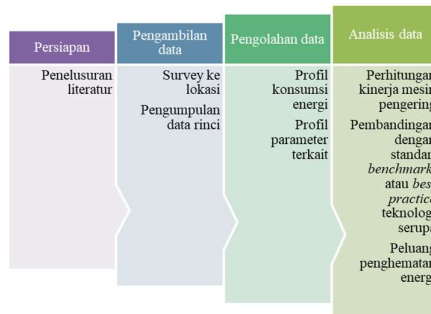
enzimatis dengan bantuan enzim polifenol oksidase. Proses ini akan berjalan baik dengan berbagai faktor, seperti kelembapan, temperatur, jenis bahan, kadar enzim dan oksigen yang tersedia. Fermentasi ini dapat dihentikan dengan proses pengeringan, sekaligus untuk menurunkan kadar air teh hingga 2,5-3% dengan pemanasan pada rentang 110-140 °C dalam mesin berjenis *Two Stage Dryer* (TSD). Tahap terakhir adalah sortasi kering atau pemilahan daun teh berdasarkan ukuran, warna, sekaligus membersihkan tangkai daun teh, debu, dan kotoran lain yang masih terbawa.

Proses pengeringan teh merupakan tahapan yang sangat berpengaruh pada kualitas teh yang dihasilkan. Pemanasan di area ini harus diperhatikan agar berjalan dengan optimal [2]. Pemanasan yang berlebih dapat mengurangi waktu pengeringan, namun juga memberikan risiko teh menjadi terlalu kering dan rusak. Sedangkan, pasokan panas yang kurang, akan menyebabkan pengeringan menjadi lebih lama, atau bahkan tidak memenuhi standar kekeringan teh, sehingga teh yang diproduksi akan berada dalam kualitas yang kurang baik, bahkan bisa jadi tidak layak jual.

Proses pengeringan teh merupakan proses yang memakan energi terbesar dari seluruh proses produksi teh, karena bahan bakar terbanyak, terutama bahan bakar padat, seperti kayu bakar, paling banyak digunakan disini [3]. Proses ini menghabiskan sekitar 84,36% energi atau setara 7940 kWh/kg teh yang dikeringkan. Konsumsi energi ini terutama digunakan untuk proses pemanasan. Mesin pengering yang baik dapat memasok energi yang optimal untuk menghasilkan produk yang baik. Untuk itu, kondisi kinerja mesin pengering harus dipantau agar selalu dalam kondisi prima dan sesuai dengan standar. Untuk itu diperlukan pemantauan dan evaluasi kinerja mesin secara berkala sehingga performanya terawasi dan terjaga. Pada penelitian ini dilakukan proses evaluasi, meliputi mengidentifikasi kinerja mesin pengering teh di PT. Perkebunan Nusantara VIII Unit Dayeuh Manggung Garut, menentukan posisi kinerja mesin pengering terhadap standar, *benchmark*, dengan teknologi yang sama, dan mencari peluang penghematan energi untuk proses pengeringan teh di Perkebunan Nusantara VIII Unit Dayeuh Manggung Garut.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang telah dilakukan secara lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 2. Proses pengumpulan data dilakukan dengan melakukan kunjungan pada lokasi survey. Setelah data diperoleh dilakukan pembuatan profil konsumsi energi dan profil beberapa parameter terkait. Sedangkan pada tahap analisa data, dilakukan perhitungan kinerja mesin pengering, benchmark dan menentukan peluang dalam penghematan energi.



Gambar 1. Metode penelitian yang dilakukan

Kinerja alat pengering dapat ditentukan dari menghitung menentukan nilai efisiensi zona pengeringan, efisiensi termal sistem pengering dan intensitas konsumsi energi. Untuk mengetahui efisiensi zona pengeringan adalah dengan menghitung perpindahan energi yang terjadi ketika terjadi kontak antara daun teh basah dengan udara panas, seperti yang diungkapkan dalam persamaan (1).

$$\text{Efisiensi zona pengeringan} = \frac{\text{Energi terima}}{\text{Energi lepas}} = \frac{\text{Energi yang dimanfaatkan untuk penguapan air}}{\text{Energi yang dilepas udara panas}} \quad (1)$$

Efisiensi termal sistem pengering, yaitu memperhitungkan manfaat yang diperoleh dibandingkan dengan pasokan energi termal yang masuk ke mesin pengering (persamaan 2).

$$\text{Efisiensi termal sistem pengering} = \frac{\text{Energi terima}}{\text{Energi lepas bahan bakar}} = \frac{\text{Energi yang dimanfaatkan untuk penguapan air}}{\text{Energi has pembakaran bahan bakar}} \quad (2)$$

Sedangkan intensitas konsumsi energi, adalah menyatakan berapa banyak energi yang harus digunakan untuk menghasilkan produk jadi (persamaan 3).

$$\text{Intensitas konsumsi energi} = \frac{\Sigma \text{Energi}}{\text{massa teh kering}} \quad (3)$$

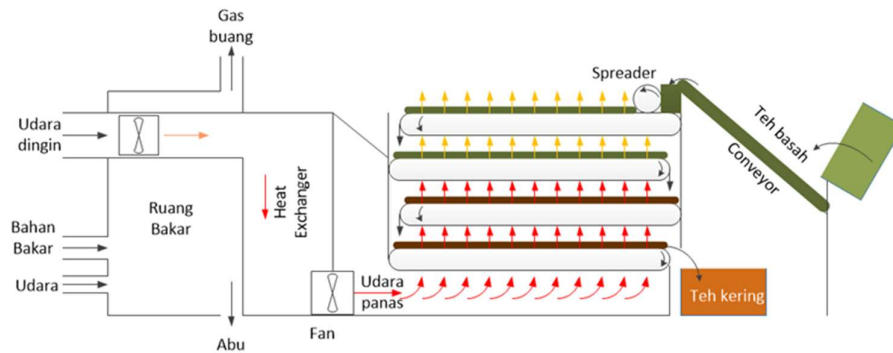
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Teknologi Pengeringan di PTPN VIII Unit Dayeuh Manggung

Produksi teh di PTPN VIII Unit Dayeuh Manggung menggunakan proses *orthodox*, yang terdiri atas tahapan proses pengumpulan bahan baku, pelayuan, penggilingan, fermentasi, pengeringan, dan sortasi kering. Proses yang paling banyak mengonsumsi energi adalah proses pengeringan. Proses ini ditujukan untuk [4] menghentikan reaksi oksidasi enzimatis pada saat komposisi senyawa-senyawa pendukung kualitas teh (*theaflavin* dan *thearubigin*) mencapai kondisi optimal, mengurangi kadar air yang terkandung dalam bubuk teh (2,5-3%), sehingga produk teh dapat disimpan dalam waktu yang lama dalam kemasan.

Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, alat yang digunakan adalah jenis *Two Stage Dryer* (TSD). Alat TSD di PTPN VIII Unit Dayeuh Manggung merupakan produk Brown G yang memiliki kapasitas 250 kg/jam, dengan penggerak utama yaitu motor listrik 15 kW. Sumber pemanasan utama berasal dari udara panas yang telah melewati *heat exchanger* (HE).

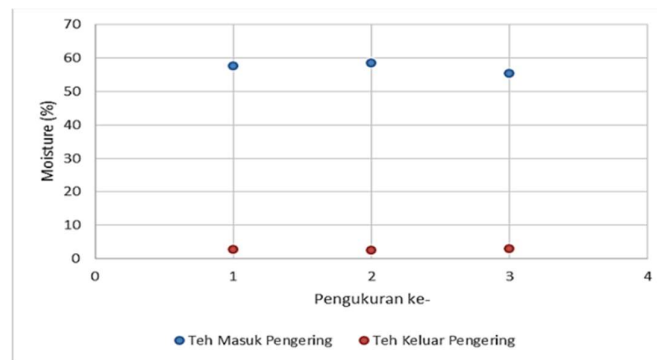
Pada alat TSD ini udara dari lingkungan dihembuskan melewati HE oleh *fan* melalui saluran pipa yang berada di sekitar tungku. Panas pembakaran dalam tungku diperoleh dari pembakaran bahan bakar minyak (BBM) atau bahan bakar kayu (BBK). Udara yang telah panas dihembuskan ke ruang pengering dan menembus hamparan bubuk teh dalam *trays* yang digerakkan melalui *conveyor*, dan diatur terpisah berdasarkan kategori bubuk I, bubuk II, bubuk III, bubuk IV, dan badag. Temperatur pengeringan dalam TSD disarankan berada dalam rentang 90-110 °C pada bagian *inlet* dan 45-55 °C pada bagian *outlet*. Untuk memperoleh pengeringan yang optimal, kecepatan *trays* diatur sehingga sekali proses pengeringan menghabiskan waktu 19-23 menit [4]. Skema TSD ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema alat pengering TSD

3.2 Profil Parameter Hasil Pengukuran

Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh *vendor* alat pengering Brown G, klaim yang diberikan terkait kadar air dalam teh keluar dari alat pengering harus berada pada rentang 2,5-3%. Data pengukuran menunjukkan bahwa kadar air dalam teh yang masuk alat pengering menunjukkan nilai rerata 57,17% dan ketika keluar dari alat pengering memiliki nilai rerata 2,78% dan maksimal 2,99% (Gambar 3). Artinya, alat pengering dapat menjaga kualitas teh pada standar *vendor*, meskipun alat ini sudah beroperasi sangat lama.

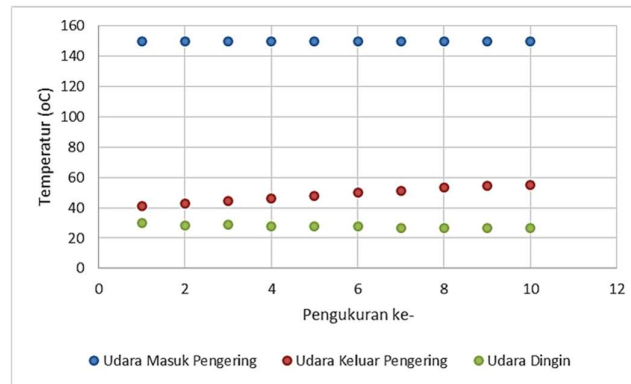


Gambar 3. Kandungan air dalam produk teh

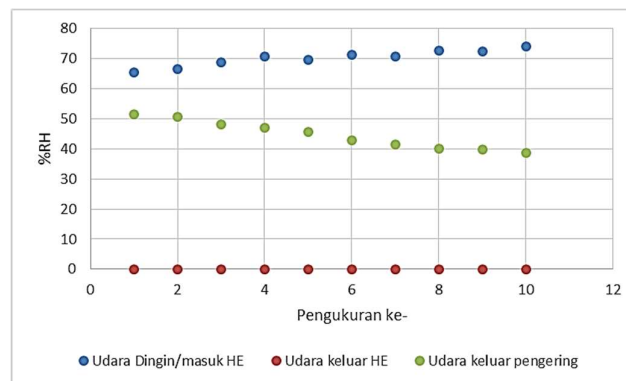
Untuk menguapkan kandungan air dalam teh, dibutuhkan mempersiapkan udara panas. Persiapan udara panas ini dilakukan dengan melewati udara dingin ke HE. Data perubahan temperatur yang dialami oleh udara ditunjukkan pada Gambar 4(a). Terlihat bahwa udara dingin dari lingkungan dihisap pada temperatur rerata 27,77 °C. Selanjutnya setelah mengalami pemanasan pada HE, udara mengalami peningkatan temperatur hingga 150 °C. Hal ini tidak sesuai dengan standar yang mensyaratkan udara masuk pengering atau keluar HE harus berada pada rentang 90-110 °C. Hal ini mengindikasikan terlalu banyak panas yang diterima oleh udara, atau terlalu banyak panas yang dipasok dari ruang bakar.

Selanjutnya, udara panas ini dialirkan ke area pengeringan dan dikontakkan melalui dasar *tray* yang menampung bubuk teh yang bergerak sepanjang *conveyor*. Temperatur udara keluaran dari area

pengeringan berada pada temperatur rerata 48,74 °C, dan ini sesuai dengan standar temperatur udara keluaran area pengeringan pada *manual book*, yaitu 45-55 °C. Tren temperatur udara keluar pengering (Gambar 4(a)) terlihat semakin meningkat. Hal ini disebabkan semakin lama kandungan air yang teruapkan dari teh semakin sedikit, sehingga panas yang dimanfaatkan untuk menguapkan air tidak terlalu besar.



(a)

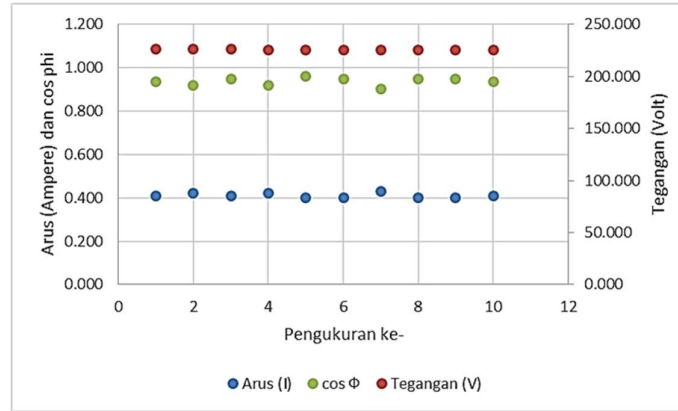


(b)

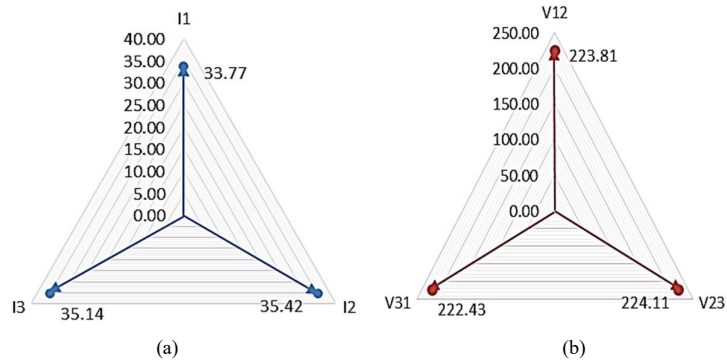
Gambar 4. Temperatur (a) dan kelembapan relatif (b) udara pada alat pengering.

Kelembapan udara dingin yang berasal dari lingkungan berada pada rentang 65,60-74,03% (Gambar 4(b)). Selanjutnya setelah melewati HE tidak terdeteksi karena tidak ada alat pengukur kelembapan udara yang terpasang. Sementara kelembapan relatif udara keluar dari alat pengering menunjukkan rerata 44,64%. Kelembapan relatif ini dipengaruhi oleh banyaknya air yang teruapkan dari teh. Dapat dilihat bahwa kelembapan relatif udara semakin menurun, artinya air yang teruapkan tidak terlalu banyak, karena sudah mendekati fasa akhir proses pengeringan, atau teh sudah mendekati kering.

Data kelistrikan pada motor yang menggerakkan *trays/conveyor* daun teh (Gambar 5), menunjukkan bahwa rerata arus 0,41 Ampere, rerata tegangan 225,74 Volt, dan rerata faktor daya 0,94. Hal ini menunjukkan nilai yang baik, karena sudah berada di atas standar faktor daya minimal yang baik 0,85 sesuai dengan batas kVAr (daya reaktif) yang diperbolehkan PLN.



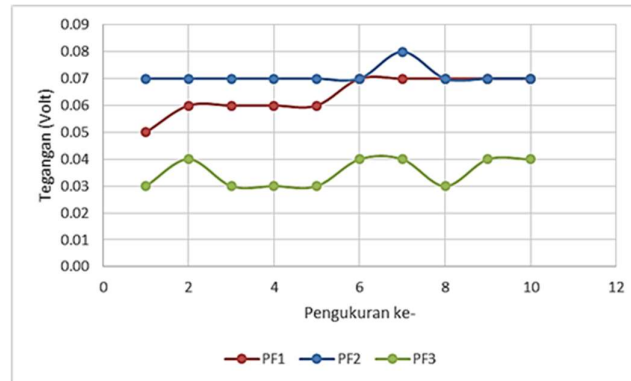
Gambar 5. Profil Kelistrikan pada motor trays.



Gambar 6. Arus (a) dan tegangan (b) pada motor fan udara pengering.

Pada Gambar 6 ditampilkan rerata arus tiap fasa dan rerata tegangan antar fasa motor fan yang mengalirkan udara pengering. Terlihat bahwa terjadi ketidakseimbangan arus dan tegangan antar fasa. Ketidakseimbangan tegangan ini menyebabkan terjadinya ketidakseimbangan arus pada motor [5], dan ketidakseimbangan arus berdampak pada ketidakseimbangan beban tiap fasa dan menimbulkan arus netral, serta rugi-rugi [6]. Untuk itu, diperlukan penyeimbangan kembali agar dapat mengurangi rugi-rugi arus netral. Persentase ketidakseimbangan tegangan terhitung sebesar 0,46%, yang dihitung dengan persamaan [7]:

$$\begin{aligned} \text{Ketidakseimbangan tegangan (\%)} &= \frac{V_{\text{rerata}} - V_{\text{min}}}{V_{\text{rerata}}} \\ &= \frac{223,45 - 222,43}{223,45} = 0,0046 = 0,46\% \end{aligned} \quad (4)$$



Gambar 7. Faktor daya (*Power Factor*/PF) pada motor *fan* udara pengering.

Hasil pengukuran faktor daya menunjukkan angka yang sangat rendah, yaitu pada rentang 0,03-0,07. Bahkan, ini lebih rendah daripada yang dinyatakan oleh Rahardjo dan Yunus [8], yaitu motor induksi dengan beban rendah faktor dayanya akan turun hingga dapat mencapai 0,3. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa beban motor memang rendah, yaitu pada rentang 1,96-4,47 kW, dari *rating* mesin 15 kW. Faktor daya yang rendah ini artinya tidak semua daya listrik yang diterima oleh beban digunakan untuk menghasilkan daya nyata, tapi sebagian digunakan untuk daya reaktif [9]. Dengan rendahnya faktor daya ini, yaitu lebih rendah daripada 0,85, maka terdapat denda dari PLN akibat berada di bawah batas kVAr (daya reaktif). Untuk itu perlu peningkatan faktor daya hingga ke level baik.

3.3 Kinerja Alat Pengering

Dari data temperatur dan kelembaban relatif dapat dihitung energi (entalpi) yang terkandung dalam aliran udara, sebelum masuk HE, setelah melewati HE, dan setelah keluar dari alat pengering. Rerata energi yang dilepas udara panas adalah sebesar 1131,28 kJ/s. Energi yang dilepas tadi, akan diterima oleh daun teh basah dan digunakan untuk penguapan kandungan airnya. Daun teh awal dengan berat 910 kg (*moisture* 57,17%) yang diinputkan ke pengering selama satu jam, berhasil diuapkan kandungan airnya sehingga menjadi 400 kg (*moisture* 2,78%).

Tabel 1. Kinerja Mesin Pengering Dayeuh Manggung

Massa teh kering (kg)	400
Energi terima untuk penguapan air (MJ)	1.398,81
Energi lepas dari udara panas (MJ)	4.072,59
Energi lepas dari pembakaran (MJ)	13.283,11
Energi input listrik (MJ)	14,08
Efisiensi zona pengeringan (%)	34,35
Efisiensi sistem pengeringan (%)	10,53
Intensitas konsumsi energi (MJ/kg pucuk teh kering)	33,24

Efisiensi termal sistem pengering yang rendah disebabkan oleh berbagai rugi-rugi di sepanjang proses, yaitu 3/5 rugi-rugi abu pembakaran, kadar air bahan bakar kayu, dan gas buang, 1/5 rugi-rugi udara keluar pengering, 1/15 rugi-rugi panas yang keluar lewat insulasi [10], dan menghasilkan efisiensi termal pengering netto 13%. Nilai efisiensi termal sistem pengering di Dayeuh Manggung sudah lebih rendah, yaitu 10,53%, sehingga diperlukan upaya untuk mengoptimalkan penggunaan energinya.

Intensitas konsumsi energi dihitung dengan melibatkan energi yang masuk, yaitu energi dari kayu bakar untuk memanaskan udara dan energi listrik untuk motor *fan* dan *trays*. Nilai kalor kayu diambil sebesar 4000 kcal/kg dan kerapatan kayu 0,55 g/cm³ [11]. Ini menghasilkan intensitas sebesar 33,24 MJ/kg teh kering. *Benchmark* nilai intensitas konsumsi energi pengeringan teh di wilayah India selatan, India Utara, Sri Lanka dan Vietnam menunjukkan nilai terbaik berada pada nilai 15,77 MJ/kg [12]. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa intensitas konsumsi energi pengeringan teh di Dayeuh Manggung harus dioptimalkan dengan melakukan upaya penghematan energi.

3.4 Peluang Penghematan Energi

Bila dilihat dari profil data yang diperoleh, maka terdapat beberapa peluang penghematan energi untuk meningkatkan kinerja sistem pengeringan di PTPN VIII Unit Dayeuh Manggung, yaitu:

1. Melengkapi alat ukur. Pemasangan alat ukur yang memadai akan memudahkan untuk melakukan *monitoring* terhadap parameter proses pengeringan, seperti temperatur, kelembapan, kecepatan udara, dll.
2. Melakukan perawatan dan pembersihan *trays*. Hal ini dilakukan agar aliran udara panas dapat kontak baik dengan daun teh yang dikeringkan. Dengan melakukan pembersihan, maka diharapkan tidak ada sumbatan yang menghalangi kontak.
3. Melakukan perawatan motor fan maupun *trays*. Dengan melakukan perawatan secara berkala, maka kerusakan bisa cepat dideteksi sehingga gangguan pada saat operasi dapat diminimalkan.
4. Mengurangi ketidakseimbangan beban. Pada profil data terdapat ketidakseimbangan tegangan dan arus di fan udara pengering. Untuk mengatasinya dapat dilakukan dengan menyeimbangkan pembebanan sumber. Atau dapat juga dilakukan dengan pemasangan kompensator untuk menyeimbangkan beban [13]. Dengan penyeimbangan beban ini, diharapkan rugi-rugi akibat arus netral dapat diminimalkan.
5. Memperbaiki faktor daya. Perbaikan faktor daya dimaksudkan agar daya yang disuplai sumber termanfaatkan maksimal untuk fungsi motor. Perbaikan ini dapat dilakukan dengan pemasangan *capacitor bank* yang sesuai. Dengan pemasangan *capacitor*, diharapkan terjadi pengurangan daya reaktif karena kedua beban (*inductor* dan *capacitor*) arahnya berlawanan, akibatnya daya reaktif menjadi kecil [9].
6. Memilih bahan bakar padat yang baik [10], dalam hal ini adalah kayu yang kadar airnya rendah. Dengan demikian, panas pembakaran tidak terbuang untuk pengeringan kayu.
7. Memanfaatkan energi panas dari saluran gas buang dan *exhaust* pengering [10]. Hal ini dapat digunakan sebagai pemanas awal bagi udara pengering, sebelum masuk HE.

4. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa:

1. Kinerja mesin pengering teh di PTPN VIII Unit Dayeuh Mangung adalah: (a) efisiensi zona pengeringan = 34,35%, (b) efisiensi sistem pengeringan = 10,53%, dan (c) intensitas konsumsi energi alat pengering = 33,24 MJ/kg daun teh kering.
2. Kinerja mesin pengering teh di PTPN VIII Unit Dayeuh Manggung lebih boros dibandingkan dengan *benchmark* di India Selatan, India Utara, Vietnam yang nilainya sebesar 15,77 MJ/kg teh kering; dan juga lebih rendah dibandingkan dengan teknologi pengering konvensional, yaitu 13%.
3. Peluang penghematan energi yang dapat diusulkan untuk sistem pengering teh PTPN VIII Unit Dayeuh Manggung: melengkapi alat ukur untuk memudahkan *monitoring*, melakukan perawatan dan pembersihan *trays* untuk kontak yang baik, melakukan perawatan motor fan maupun *trays*, mengurangi ketidakseimbangan beban, memperbaiki faktor daya, memilih bahan bakar padat yang baik, memanfaatkan energi panas dari saluran gas buang dan exhaust pengering yang energinya masih cukup tinggi.

5. Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini didukung oleh pendanaan dari Unit Penelitian Pengabdian Masyarakat (UPPM) Politeknik Negeri Bandung melalui Program Penelitian Mandiri Dana DIPA Politeknik Negeri Bandung.

Daftar Pustaka

1. T. Setiawan, "Audit Energi pada Sistem Pengolahan Pucuk Teh menjadi Teh Hitam Orthodox di PT. Perkebunan Nusantara VIII Kebun Cisaruni Garut," Institut Pertanian Bogor, Bogor, 2010.
2. J. E. Witoyo, S. Amalia, K. N. Putri, M. T. Zain och D. Wulandari, "Perubahan Biokimia selama Proses Black Tea," Universitas Brawijaya, Malang, 2015
3. T. Herwanto, S. Nurjanah, M. Saukat och S. Hafidz, "Analisis Energi pada Proses Pengolahan Teh Hitam Ortodoks (Studi Kasus PT. Perkebunan Nusantara VIII Kebun Gedeh, Desa Sukamulya, Kecamatan Cugenang, Kabupaten Cianjur, Jawa Barat)," *Jurnal Teknotan*, vol. 12, nr 1, April 2018
4. PTPN VIII Dayeuh Manggung, Manual Book Produksi Teh PTPN VIII Dayeuh Manggung, PTPN VIII Dayeuh Manggung, 1973
5. D. Listrik, "Unbalance Current Pada Motor AC 3 Fasa," Februari 2015. [Online]. Available: <https://direktorialistrik.blogspot.com/2015/02/unbalance-current-pada-motor-ac-3-fasa.html>
6. R. S. Siregar och R. Harahap, "Perhitungan Arus Netral, Rugi-Rugi, dan Efisiensi Transformator Distribusi 3 Fasa 20 KV/400 V Di PT. PLN (Persero) Rayon Medan Timur Akibat Ketidakseimbangan Beban," *Journal of Electrical Technology*, vol. 2, nr 3, 2017, pp. 79-85,
7. A. Mashar, "Pengaruh Ketidakseimbangan Tegangan Terhadap Unjuk Kerja Motor Induksi 5,5 kW," i *Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung, 2012
8. Rahardjo och Y. Yunus, "Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi 3 Fase," i *Senimar Nasional VI SDM Teknologi Nuklir*, Yogyakarta, 2010
9. R. J. Sitorus och E. Warman, "Studi Kualitas Listrik dan Perbaikan Faktor Daya pada Beban Listrik Rumah Tangga Menggunakan Kapasitor," *Singuda Ensikom*, 2013, pp. 64-69.

10. C. Gupta, "Energy Conservation in the Tea Industry," *Renewable Energy Review Journal*, vol. 5, nr 2, 1983, pp. 43-53.
11. T. D. Cahyono, Z. Coto och F. Febri, "Analisis Nilai Kalor dan Kelayakan Ekonomis Kayu sebagai Bahan Bakar Substitusi Batu Bara di Pabrik Semen," *Forum Pascasarjana*, vol. 31, nr 2, 2008, pp. 105-116.
12. A. Sharma och P. P. Dutta, "Scientific and technological aspects of tea drying and withering: A review," *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, vol. 20, nr 4, 2018, pp. 210-220.
13. P. A. Dahono, "Ketidakseimbangan Tegangan dan Pengaruhnya," 15 April 2011. [Online]. Available: <https://konversi.wordpress.com/2011/04/15/ketidakseimbangan-tegangan-dan-pengaruhnya/>.