

Analisa Termodinamika dan Laju Pengeringan pada Mesin Double-Drum Dryer

Yanti Mulyanti^{1,a)}, Dwi Wijayanto^{2,b)}, Acep Pruqon^{1,c)}

¹Kelompok Keilmuan Fisika Bumi dan Sistem Kompleks,
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung,
Jl. Ganesha no. 10 Bandung, Indonesia, 40132

²Departemen Teknik,
Divisi Nutrisi dan Makanan Khusus
PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk
Jl. Raya Caringin no. 353, Padalarang, Bandung, Indonesia, 40553

^{a)} mulyanti_12@students.itb.ac.id (corresponding author)

^{b)} dwi.wijayanto@icbp.indofood.co.id

^{c)} acep.purqon@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan penghitungan laju pengeringan dan performansi mesin Double-Drum Dryer yang dioperasikan sebagai mesin pengering produk Bubur Tim Instan di PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk Divisi Nutrisi dan Makanan Khusus. Siklus Rankine digunakan sebagai model perhitungan performansi mesin secara termodinamik. Laju pengeringan dihitung dengan melakukan pengujian kadar air sampel di Slurry tank dan main flakers setiap 30 menit dengan menggunakan Toledo, Halogen Moisture Analyzer sesuai dengan ketentuan pengambilan sampel di pabrik. Sedangkan efisiensi mesin dihitung dengan menggunakan data tekanan dan temperatur operasi. Laju pengeringan maksimum yang dapat dicapai oleh mesin adalah 13.14 kg/m²h dengan penurunan kadar air maksimum 63.09%. Adapun efisiensi mesin hanya mencapai 55.49% Pada studi ini dibahas juga alternatif unit operasi untuk meningkatkan performansi. Ada dua mesin Double-Drum Dryer yang dioperasikan, dan keduanya memiliki performansi yang hampir sama dan menghasilkan produk dalam satu wadah, sehingga karakteristik nya diasumsikan sama. Untuk meningkatkan efisiensi termal pada mesin, digunakan sistem open FWH (Feed Water Heater) yang dapat menurunkan kalor pada boiler.

Kata-kata kunci : bubur tim instan, efisiensi termal, FWH, laju pengeringan, siklus Rankine

PENDAHULUAN

Proses produksi makanan dalam skala pabrik membutuhkan sumber daya yang baik, baik dari segi mesin, material, dana, dan sumber daya manusia. Sinergi yang dibuat oleh sistem produksi sehingga semua jenis sumber daya tersebut dapat berkolaborasi secara optimal merupakan tantangan bagi pemilik regulasi dan sistem produksi. Makanan bayi merupakan jenis makanan fungsional yang mengantarkan nutrisi dan gizi yang harus diterima oleh balita. Formulasi nutrisi dan komposisi bahan lainnya membutuhkan dukungan sistem produksi yang baik sedemikian sehingga nutrisi yang terkandung pada makanan tidak hilang atau bahkan rusak.

Mesin-mesin yang digunakan sebagai alat produksi utama merupakan bagian sistem produksi yang tidak boleh terlewatkan dari proses kontrol. Sifat mekanik, termal, elektromagnetik, dan optik pada mesin akan memberikan pengaruh pada kualitas produk.

Pada studi ini akan dibahas mesin double-drum dryer yang dioperasikan sebagai media pengering produk. Sistem ini menggunakan uap sebagai sumberpanas nya, karena dinilai dapat menjaga nutrisi yang terkandung pada material. Uap panas nya berasal dari boiler yang menjadi sumber energi mesin utama di pabrik.

TEORI

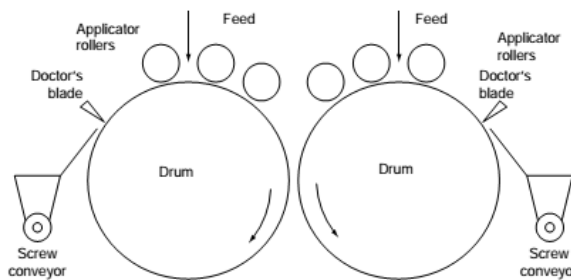
Pengeringan merupakan serangkaian operasi rumit yang menyertakan transfer kalor dan massa sepanjang prosesnya. Pengeringan atau proses dehidrasi berkaitan dengan pengurangan kandungan air atau kelembaban pada makanan hingga dapat menghambat pertumbuhan mikroba dan/atau mengurangi terjadinya reaksi kimia yang merugikan [2,4]. Pengeringan yang terjadi pada proses pembuatan rice flakes merupakan pengeringan dalam jumlah banyak atau dalam sekumpulan unit tertentu (batch drying) sehingga laju pengeringan nya dapat didekat dengan persamaan berikut [2],

$$R = -\frac{W}{A} \frac{dX}{dt} \tag{1}$$

$$\frac{dX}{dt} = \frac{(X_f - X_0)}{t} \tag{2}$$

- R = laju pengeringan (kg/m²jam)
- W = massa padatan (kg)
- A = luas permukaan media pengering (m²)
- X_f = kandungan air akhir (%)
- X₀ = kandungan air awal (%)
- t = waktu pengeringan (jam)

Double-drum dryer merupakan jenis rotary drying yang menggunakan dua buah silinder yang diletakkan berhadapan sehingga material mengalami pemanasan dari atas dan bawah seperti pada gambar berikut[2]. Dengan konfigurasi double-drum dryer kandungan air pada material dapat berkurang lebih cepat dibandingkan dengan menggunakan single-drum dryer. Efisiensi termodinamika double-drum dryer berkisar antara 60%-90% [3].



Gambar 1. Konfigurasi double-drum dryer

Siklus Rankine merupakan mesin kalor dengan siklus tenaga uap (vapor power cycle) [3]. Siklus Rankine ideal tidak menyertakan irreversibilitas internal dan terbagi dalam empat proses berikut[3],

- 1 → 2 : Kompresi adiabatik
- 2 → 3 : Ekspansi isobarik
- 3 → 4: Ekspansi adiabatik
- 4 → 1 : Isobarik, isothermal kondensat

Air memasuki pompa pada keadaan (1) sebagai cairan tersaturasi (saturated liquid) dan terkompresi secara isentropik menuju tekanan operasi boiler. Temperatur air sedikit meningkat selama proses kompresi isentropik seiring dengan penurunan volume spesifik air. Kemudian air memasuki boiler pada keadaan (2) cairan terkompresi (compressed liquid) dan meninggalkan boiler sebagai uap superpanas (superheated vapor)

pada keadaan (3) dan memasuki sanitary double-drum dryer (turbin). Uap tersebut memasuki turbin dimana didalamnya terjadi ekspansi adiabatik dan menghasilkan kerja. Tekanan dan temperatur uap menurun drastis pada keadaan (4), dimana uap memasuki kondensat. Pada keadaan ini biasanya campuran uap-cairan tersaturasi (saturated liquid-vapor) dengan kualitas tinggi [1]. Analisa termodinamika tiap proses pada Siklus Rankine memenuhi persamaan berikut,

Pompa (Q=0)

$$W_{in} = h_2 - h_1 \tag{3}$$

Atau,

$$W_{in} = g(P_2 - P_1) \tag{4}$$

Boiler (W=0)

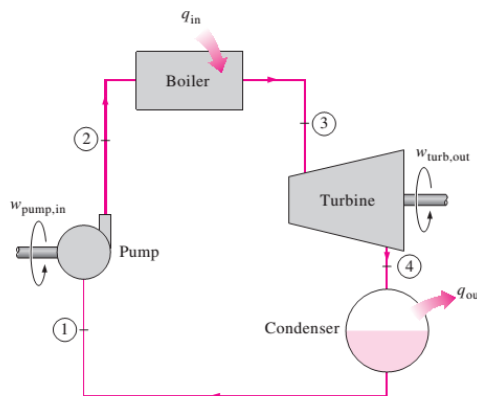
$$Q_{in} = h_3 - h_2 \tag{5}$$

Double-Drum (Q=0)

$$W_{out} = h_3 - h_4 \tag{6}$$

Kondensat (W=0)

$$Q_{out} = h_4 - h_1 \tag{7}$$



Gambar 2. Siklus Rankine

Efisiensi termal sistem dengan pendekatan Siklus Rankine memenuhi persamaan berikut,

$$W_{net} = Q_{boiler} - Q_{kondensat} \tag{8}$$

$$W_{net} = W_{dd} - W_{pompa} \tag{9}$$

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}} \tag{10}$$

MATERIAL DAN METODE

Dilakukan pengambilan data parameter operasi dari logbook harian “Laporan Slurry Mixer dan Drum Dryer line 9 dan 10” selama sebelas (11) hari kerja di PT. Indofood CBP Sukses Makmur, Tbk. Nutrition and Special Foods Division. Proses produksi berkisar antara 16-37 batch perhari. Karena data yang diperoleh menunjukkan angka yang relatif sama, maka hanya diambil produksi satu hari sebanyak 37 batch yang merupakan produksi terbanyak dengan pengulangan dua (2) kali selama pengambilan data.

Untuk menghitung laju pengeringan digunakan data kadar air di flakers yang diukur setiap ±30 menit dengan menggunakan Toledo HR73 Halogen Moisture Analyzer. Sedangkan, efisiensi termal mesin double-drum

dryer menggunakan data tekanan dan temperatur operasional double-drum dryer dan sanitary yang ada pada logbook yang sama. Berikut data-data parameter produksi yang digunakan.

Tabel 1. Parameter Produksi

A.	Bahan Baku per Batch	nilai	satuan
	Beras putih	68	kg
	Beras ketan	4	kg
	Air panas	125	kg
	Tapioka	9	kg
	Air panas	25	kg
	Air dingin	12	kg
B.	Parameter Konstan mesin		
	Luas Penampang	42.9	m ²
	Laju Rotasi	0.5	rpm
	Kadar air di slurry tank	67%	

HASIL DAN DISKUSI

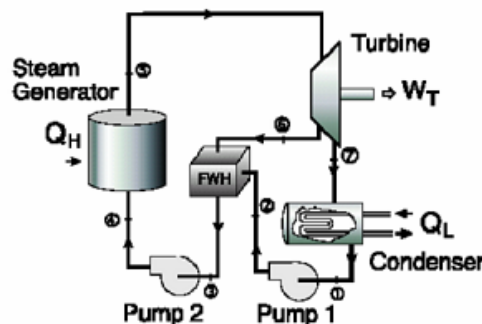
Berikut adalah hasil perhitungan analisa termodinamika double-drum dryer dengan menggunakan pendekatan siklus Rankine.

Tabel 2. Kalor dan Kerja pada mesin

Keadaan	Q (kJ/kg)	W (kJ/kg)
Pompa	0	765,1
Boiler	1377,303	0
Double-drum dryer	0	14,6
Kondensat	-2122,21	0

Tanda negatif pada Q kondensat disebabkan $h_4 < h_3$. Q kondensat merepresentasikan aliran kalor dari sistem kondensat ke lingkungan. Kalor ini akan diserap oleh air dingin yang melewati tabung kondensor. Efisiensi termal mesin double-drum dryer diperoleh 55,49%. Nilai ini lebih kecil dibandingkan nilai efisiensi termal yang diperoleh dari referensi yaitu berkisar antara 60%-90%. Efisiensi termal yang lebih besar dapat diperoleh dengan menurunkan tekanan pada kondensat atau menaikkan tekanan steam yang memasuki double-drum dryer.

Efisiensi siklus Rankine dapat dinaikkan dengan menambahkan Feed Water Heater (FWH) pada sistem. FWH (feed water heater) adalah penukar panas (heat exchanger) dimana kalor laten dari sejumlah kecil uap nya digunakan untuk menaikkan temperatur air (feed water) yang mengalir menuju generator uap (boiler)[3].



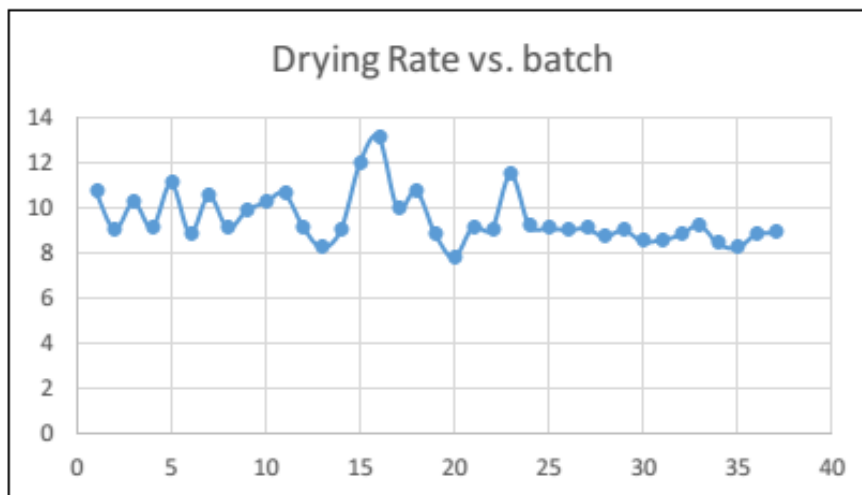
Gambar 3. Sistem FWH pada mesin

Uap bertekanan tinggi yang keluar dari turbin sebagian kecil masuk kedalam FWH, yang kemudian memanaskan air (feed water) yang berada didalamnya. Pemanasan air sebelum memasuki generator uap ini akan mengurangi kalor yang dihasilkan pada proses ekspansi isobarik pada boiler dan meningkatkan efisiensi termal. Jenis FWH yang cocok digunakan untuk sistem ini adalah Open FWH. Sistem open FWH digunakan karena prinsipnya yang sederhana, yaitu dengan mencampurkan uap dari turbin dan air dingin sehingga diperoleh cairan tersaturasi (saturated liquid). Selain itu, keunggulan open FWH adalah biaya proses nya relatif rendah, memiliki karakteristik transfer kalor yang baik, serta menghasilkan keadaan saturasi. Akan tetapi, kekurangannya open FWH adalah dibutuhkan pompa untuk setiap penambahan FWH pada sistem[3].



Gambar 4. Sistem FWH pada mesin

Laju pengeringan yang diperoleh berada pada rentang 7,83-13,14 kg/m² jam dengan rata-rata 9.52 kg/m² jam. Nilai ini sudah cukup tinggi dibandingkan laju pengeringan dengan single-drum yang berkisar 8-9 kg/m² jam[5]. Grafik berikut menyatakan hubungan laju pengeringan dengan banyaknya produksi dalam satuan batch. Dapat kita lihat bahwa laju pengeringannya cukup fluktuatif pada awal produksi, kemudian stabil di sepertiga batch terakhir. Hal ini disebabkan karena mesin pada belum cukup stabil (heating-up nya belum sempurna), sehingga mempengaruhi laju pengeringannya.



Gambar 5. Grafik Laju pengeringan vs. batch

KESIMPULAN

Pada makalah ini telah dihitung laju pengeringan double-drum dryer 7,83-13,14 kg/m² jam dengan rata-rata 9.52 kg/m² jam, Sedangkan efisiensi termal nya berada pada nilai 55,49 %. Studi ini masih perlu dikembangkan khususnya dalam koreksi tiap proses pada siklus Rankine yang dilengkapi dengan parameter operasi yang lebih detail. Selain itu, dapat dikembangkan pula perbandingan kinerja mesin double-drum dryer line 9 dan 10 dengan menggunakan pendekatan lain.

Pengembangan-pengembangan yang lebih baik kedepannya diharapkan dapat menjadi solusi alternatif terhadap permasalahan yang sering terjadi di lapangan, dalam hal ini proses produksi Follow on Cereal. Sinergisasi efisiensi mesin, efektivitas proses, dan pemahaman terhadap material (Follow on Cereal) diharapkan dapat menghasilkan produk yang terjaga kualitasnya sehingga produk Follow on Cereal ini dapat menjadi sumber gizi yang baik bagi balita.

REFERENSI

1. Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. (2006). Thermodynamics An Engineering Approach. McGraw-Hill book Company.
2. Xiao Dong Chen, Arun S. Mujumdar. (2008). Drying Technologies in Food Processing. Blackwell Publishing Ltd
3. R K Kapooria, S Kumar, K S Kasana. (2008). An Analysis of a Thermal Power Plant Working on a Rankine Cycle: A Theoretical Investigation. Journal of Energy in Southern Africa. Vol 19 No 1
4. P.G Smith. (2011). Introduction to Food Process Engineering Second Edition. Food Science and Tech Series. Springer
5. Yustinus Heri Hermawan. (2003). Karakteristik Pengeringan pada Drum Dryer. Institut Teknologi Bandung