

# Kesetimbangan Energi Termal Transient pada Pengering Berputar Aliran Paksa

Made Ricki Murti

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Udayana, Bali.

email : [ricki.murti@me.unud.ac.id](mailto:ricki.murti@me.unud.ac.id)

---

## Abstraksi

Telah banyak penelitian tentang pengering dengan bed statis sehingga material yang dihasilkan tidak kering seragam. Dengan demikian pengeringan dengan bed berputar mampu menghasilkan material yang kering secara seragam. Biasanya suatu prototipe paling dekat dengan efisiensi sistem sebagai performansinya, tetapi hal tersebut belum mampu memperlihatkan kesetimbangan energi termalnya. Sehingga target penelitian ini berupa kesetimbangan energi termal transient. Data yang diambil dalam pengujian meliputi: temperatur fluida masuk saluran ruang pengering ( $T_{in}$ ), kecepatan aliran fluida masuk saluran ruang pengering ( $V$ ), temperatur fluida yang keluar saluran ruang pengering ( $T_{out}$ ), temperatur material yang dikeringkan ( $T_{mtl}$ ), massa material yang dikeringkan ( $m_{mtl}$ ), temperatur permukaan dalam dari dinding ruang pengering ( $T_{dlm}$ ), temperatur permukaan luar dari dinding ruang pengering ( $T_{luar}$ ). Selanjutnya dilakukan pengolahan data sampai mendapatkan hasil berupa kesetimbangan energi termal transient dalam tabel dan grafik. Dari hasil tersebut terlihat bahwa energi berguna menurun terhadap waktu walaupun energi masuk sistem pengeringan mengalami sedikit peningkatan. Dari kesetimbangan energi termal tersebut didapatkan juga performansi berupa efisiensi termal dan efisiensi termal rata-rata adalah sebesar 18%. Penurunan energi berguna sebagai fungsi waktu, menyebabkan efisiensi termal sebagai fungsi waktu juga mengalami penurunan, hal tersebut ditandai oleh penurunan massa material karena kondisinya yang semakin kering.

**Kata kunci :** laju energi masuk, laju total kehilangan energi, laju energi evaporasi, laju perubahan energi tersimpan.

## Abstract

# Balance of Transient Thermal Energy on the Forced Flow Rotary dryer

There have been many studies about the dryer with a static bed so dry material produced is not uniform. Thus, drying with rotating bed can produce the dry material uniformly. Usually a prototype closest to the efficiency of the system as a performance, but it has not been able to show its thermal energy balance. So the target of this research is a transient thermal energy balance. Data taken in the testing include: the temperature inlet fluid of drying chamber channel ( $T_{in}$ ), the velocity of fluid flow into drying chamber channel ( $V$ ), the outlet fluid temperature from drying chamber channel ( $T_{out}$ ), the temperature of dried material ( $T_{mtl}$ ), the mass of dried material ( $m_{mtl}$ ), the surface temperature in the drying chamber wall ( $T_{dlm}$ ), surface temperature out the drying chamber wall ( $T_{luar}$ ). Next step is to get the results of data processing in the form of transient thermal energy balance in tables and graphs. From the results it can be seen that the useful energy decreases with time although the incoming energy drying system increased slightly. From the energy balance of thermal performance is obtained also in the form of thermal efficiency and average thermal efficiency is 18%. Decrease in useful energy as a function of time, causes the thermal efficiency as a function of time was also decreased, it is characterized by a decrease in the mass of material because the condition is getting dry.

**Keywords:** the rate of incoming energy, the total rate of energy losses, the rate of evaporation energy, the rate of saved energy change.

---

## 1. PENDAHULUAN

Pada umumnya konstruksi sistem pengering memiliki bed pengering yang statis, dimana aliran fluida mengalir secara alami yang disebabkan karena adanya perbedaan tekanan ( $\Delta P$ ). Secara matematis menurut Exell, R.H.B, (1998) variabel-variabel yang mempengaruhi perbedaan tekanan itu sendiri adalah :

perbedaan densitas ( $\rho$ ) antara udara luar dengan udara pengering serta perbedaan ketinggian (elevasi) antara fluida masuk dan fluida keluar saluran sistem pengeringan.

Pada penelitian ini diuji sistem pengering dengan bed pengering yang berputar. Pada proses ini material mengalami gerakan putar seperti teraduk

sehingga menghasilkan material kering secara merata. Kondisi ini menyebabkan material mendapatkan panas merata dan terjadi penguapan pada material secara merata. Hal ini juga memungkinkan posisi material yang selalu berubah dengan putaran konstan sehingga butiran material yang berada diatas akan berpindah ke bawah demikian juga sebaliknya terjadi secara kontinyu sehingga semua butiran material mendapatkan proses pengeringan secara merata. Berbeda dengan sistem pengeringan dengan bed pengering kondisi statis, pengeringan tidak terjadi secara merata dikarenakan tidak terjadi pengadukan terhadap material. Material yang berada paling bawah menerima panas paling awal dari fluida pengering yang masuk. Ketika fluida pengering melintasi material tersebut perpindahan massa air yang terjadi adalah paling besar, dan semakin keatas sepanjang bed perpindahan massa air yang terjadi semakin kecil disebabkan oleh perbedaan konsentrasi uap air yang semakin kecil dibandingkan material yang berada dibawahnya. Dengan demikian terjadilah penguapan (perpindahan massa air) dan material yang diatasnya dilintasi oleh udara yang bercampur uap air sehingga penguapan menjadi lebih kecil. Maka makin keatas material menjadi lebih kurang kering jadi tidak kering merata.

Sebelumnya peneliti telah merancang bangun sistem pengering multi material aliran paksa dengan bed pengeringan berputar berupa prototipe, kemudian telah melakukan pengujian dan telah dihasilkan material-material yang kering homogen. Selanjutnya pada penelitian ini dilakukan pengujian lanjutan terhadap kesetimbangan energi termal pada ruang pengeringan yang berputar tersebut. Sehingga sebagai target penelitian ini adalah mendapatkan kesetimbangan energi termal sebagai fungsi waktu(Transient).

## 2.DASAR TEORI

Pada sistem pengeringan maka proses utama yang terjadi adalah proses perpindahan panas dan perpindahan massa. Incropera, Frank P and DeWitt, David P, (2008) mendefinisikan perpindahan panas dan perpindahan massa. Perpindahan panas adalah suatu perpindahan energi termal pada suatu media yang diakibatkan oleh perbedaan temperatur(gradient Temperatur). Sedangkan perpindahan massa adalah perpindahan massa pada suatu media yang diakibatkan oleh adanya perbedaan konsentrasi molar suatu spesies pada media tersebut.

Perpindahan panas konduksi merupakan perpindahan energi panas yang terjadi di dalam media padat atau fluida yang diam sebagai akibat dari perbedaan temperatur. Hal ini merupakan perpindahan energi dari partikel yang lebih energetik ke partikel yang kurang energetik pada benda akibat interaksi antar partikel-partikel. Persamaan untuk menghitung laju konduksi dikenal dengan Hukum Fourier sebagai berikut :

$$q_{kond} = -k A (dT/dx) \quad (W) \quad (1)$$

Dimana : k = Konduktivitas termal bahan (W/m.K), dT= Beda temperature antara media (K), dx = Jarak perpindahan panas (m), A= Luasan permukaan tegak lurus arah perpindahan(m<sup>2</sup>), dan (-) = Perpindahan panas selalu terjadi dari temperatur tinggi menuju temperatur rendah.

Perpindahan panas konveksi adalah suatu perpindahan panas yang terjadi antara suatu permukaan benda padat dan fluida yang mengalir akibat adanya perbedaan temperatur. Persamaan untuk menghitung laju perpindahan panas konveksi dikenal dengan Newton's law of cooling yang dirumuskan sebagaiberikut :

$$q_{konv} = hA (T_s - T_\infty) \quad (W) \quad (2)$$

Dimana: h = Koefisien konveksi (W/m<sup>2</sup>K), A = luasan permukaan perpindahan panas tegak lurus arah perpindahan (m<sup>2</sup>), T<sub>s</sub> = temperatur permukaan benda padat (K), T<sub>∞</sub> = temperatur fluida yang mengalir (K).

Perpindahan panas Radiasi adalah suatu perpindahan panas yang terjadi secara pancaran gelombang elektromagnetik dari suatu permukaan benda. Laju perpindahan panas Radiasi dapat dihitung dengan persamaan sebagaiberikut:

$$q_{Radiasi} = \epsilon \cdot \sigma \cdot A (T_s^4 - T_{Surr}^4) \quad (W) \quad (3)$$

Dimana:  $\sigma$  =Konstanta Stefan-Boltzmann (5,67.10<sup>-8</sup> W/m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>),  $\epsilon$  =emisivitas permukaan media, A=Luas permukaan perpindahan panas (m<sup>2</sup>), T<sub>s</sub> = temperatur permukaan benda padat (K), T<sub>Surr</sub> = temperatur surrounding (K).

Perpindahan massa didefinisikan sebagai perpindahan massa pada suatu media yang diakibatkan oleh adanya perbedaan konsentrasi molar suatu spesies pada media tersebut. Perpindahan massa konveksi dari suatu permukaan material menuju udara dapat dirumuskan sebagaiberikut:

$$N_a = h_m A (C_{AS} - C_{A\infty}) \quad (kmol/s) \quad (4)$$

Dimana: h<sub>m</sub>= koefisien Perpindahan massa konveksi (m/s), A = luasan permukaan perpindahan massa (m<sup>2</sup>), C<sub>AS</sub> = konsentrasi molar spesies A pada permukaan benda padat (kmol/m<sup>3</sup>), C<sub>A∞</sub>= konsentrasi molar spesies A pada fluida yang mengalir (kmol/m<sup>3</sup>).

Duffie, John A and Backman, William A, (2006) menyatakan bahwa sebuah sistem pengeringan memiliki kesetimbangan energi termal, tentunya kesetimbangan tersebut merupakan fungsi daripada waktu artinya kesetimbangan energi termal selalu berubah-ubah terhadap waktu. Variabel kesetimbangan energi termal terdiri dari beberapa jenis yaitu : Laju energi masuk sistem pengeringan, laju energi keluar sistem pengeringan, laju energi berguna sistem, laju perubahan energi tersimpan sistem pengeringan. Pernyataan tersebut terlihat dalam bentuk persamaan umum kesetimbangan energi termal yang menyatakan bahwa : Laju energi masuk sistem dikurangi laju energi keluar sistem ditambah dengan laju energi yang dibangkitkan ke dalam sistem adalah sama dengan laju perubahan

energi tersimpan didalam sistem. Hal tersebut dirumuskan sebagaiberikut :

$$\dot{E}_{IN} - \dot{E}_{OUT} + \dot{E}_{GEN} = \dot{E}_{ST} \quad (5)$$

Didalam sistem pengeringan bahwa senantiasa ( $\dot{E}_{GEN} = 0$ ) sehingga persamaan umum kesetimbangan energi termal itu mengalami perubahan menjadi:  $\dot{E}_{IN} - \dot{E}_{OUT} = \dot{E}_{ST}$  Kemudian Energi keluar sistem pecah menjadi dua kelompok energi sehingga kesetimbangan energi termalnya menjadi : laju energi masuk sistem dikurangi laju energi losses total sistem dikurangi laju energi berguna adalah sama dengan laju perubahan energi tersimpan didalam sistem.

$$\dot{E}_{IN} - \dot{E}_{Losses\ Total\ Sistem} - \dot{E}_{Berguna} = \dot{E}_{ST}$$

$$\dot{E}_{IN} - (\dot{E}_{Losses\ Saluran\ Buang} + \dot{E}_{Losses\ Panas\ Dinding}) - \dot{E}_{Berguna} = \dot{E}_{ST}$$

Hal ini menunjukkan bahwa didalam sistem biasanya tidak terjadi energi bangkitan(Tidak berupa energi bangkitan) yang diberikan ke dalam sistem melainkan biasanya berupa energi termal masuk sistem. Tetapi pada sistem pengeringan muncul adanya variable laju energi berguna yaitu pecahan dari laju energi keluar sistem dimana laju energi keluar sistem terdiri dari: laju energi berguna, laju energi losses yang keluar melalui fluida buang pengeringan, dan laju energi losses dinding sistem.

Laju Energi Masuk Sistem Biasanya dihitung melalui energi aliran didalam saluran(Aliran dalam) yang merupakan perkalian antara laju aliran massa fluida yang melintasi saluran ( $\dot{m} = \rho VA = kg / S$ ) dengan kalor spesifik fluida pada tekanan konstan ( $C_p = kJ / kg .K$ ) dan dikalikan lagi dengan selisih antara temperatur keluar saluran dan temperatur fluida masuk saluran sebagai fluida pengering dalam derajat Celcius atau Kelvin. Sedangkan laju energi masuk sistem (Watt) dapat ditentukan dengan persamaan sebagaiberikut :

$$q_{IN} = \dot{m} \cdot C_p \cdot T_{in} \quad (6)$$

Dimana  $T_{in}$  (K) adalah temperatur udara(fluida) masuk sistem pengering sebagai fluida kerja sistem

Laju energi berguna sistem jika fluida pengeringan melintasi permukaan material yang dikeringkan maka akan terjadi proses penyerapan massa spesies yang terkandung pada material maka energi yang berfungsi untuk menguapkan tersebut adalah berupa panas laten yang dapat dirumuskan sebagaiberikut :

$$q_{USE} = (M_w \cdot L_H / s) \quad (7)$$

dimana  $M_w$  = Massa air yang diuapkan(diserap) oleh fluida pengering (kg) dan ( $M_w / s$ ) laju massa air yang diuapkan persatuan waktu(kg/s) sedangkan  $L_h$ = panas laten penguapan air pada material(kJ/kg).

Jumlah energi yang diperlukan selama proses pengeringan didasarkan pada jumlah massa air yang diserap udara pengering. Jumlah massa air yang diuapkan ( $M_w$ ) dihitung berdasarkan kadar

air awal material ( $M_i$ ) dan kadar air akhirnya ( $M_f$ ) dengan menggunakan persamaan (1) :

$$M_w = W_i(M_i - M_f) / (100 - M_f) \quad (8)$$

dimana :  $W_i$  adalah massa material dalam keadaan basah.

Panas laten penguapan merupakan variabel fungsi temperatur. Panas laten penguapan air pada temperatur 30°C sekitar 2,43 MJ/kg=2,43. 10<sup>3</sup> kJ/kg (Pada Tabel Uap). Biasanya sebagai pendekatan, harga kalor (panas) laten penguapan air material diambil  $L_h = 2,8$  MJ / kg = 2,8. 10<sup>3</sup> kJ/kg

Laju Energi Keluar Sistem Laju energi keluar sistem (laju energi losses total dalam Watt, atau  $\dot{E}_{OUT}$  adalah berupa: laju energi losses melalui dinding sistem, dan laju energi losses yang keluar melalui fluida buang pengeringan. Besarnya energi losses tersebut tidak dihitung melalui suatu proses perhitungan melainkan hanya cukup dihitung dengan menghitung selisih laju energi yaitu: laju energi masuk sistem dikurangi laju energi berguna system, dan selisih tersebut adalah merupakan laju energi losses total. Jadi tidak perlu menghitung melalui proses yang panjang.

Laju perubahan energi tersimpan sistem ( $\dot{E}_{ST}$ ) dapat dirumuskan sebagaiberikut:

$$\dot{E}_{ST} = m C_p \cdot (dT / dt) = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot (dT / dt) \quad (9)$$

Pada kondisi tanpa energi bangkitan  $\dot{q} = 0$ ,  $\dot{E}_g = 0$ , apabila energi masuk melebihi energi keluar ( $\dot{E}_{in} > \dot{E}_{out}$ ) maka energi tersimpan ( $\dot{E}_{st}$ ) bertambah artinya  $\dot{E}_{ST} = \rho V c_p (dT / dt)$  adalah positif atau sebaliknya jika  $\dot{E}_{in} < \dot{E}_{out}$  maka ( $\dot{E}_{ST}$ ) negatif karena  $E_{st}$  (Energi tersimpan) berkurang. Dan apabila Energi masuk sistem = Energi keluar sistem ( $\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out}$ ) maka ( $\dot{E}_{ST}$ ) = Tetap , ( $\dot{E}_{ST}$ ) adalah nol. Karena dalam hal ini bahwa harga ( $T_{Rata-rata}$ ) pada system pengeringan ( $dT = 0$ ) adalah konstan selama selang waktu tertentu, sehingga  $\dot{E}_{ST} = \rho \cdot V \cdot C_p \cdot (dT / dt)$  yaitu laju perubahan energi tersimpan (perubahan energi tersimpan persatuan waktu) adalah nol. Maka kondisi ini disebut kondisi steady-state atau steady-state condition. Jika energi bangkitan diberikan ke sistem volume atur, maka energi masuk sistem volume atur dijumlahkan dengan energi bangkitan. Pada kondisi steady-state maka energi masuk ( $\dot{E}_{in}$ ) ditambahkan dengan energi bangkitan ( $\dot{E}_g$ ) adalah sama dengan energi keluar sistem ( $\dot{E}_{out}$ ). Sehingga pada  $T$  rata-rata = konstan( $dT=0$ ), atau  $\dot{E}_{ST} = \rho \cdot V \cdot C_p (dT / dt) = 0$

maka  $\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = 0$  atau  $\dot{E}_{in} + \dot{E}_g = \dot{E}_{out}$  Perlu diingat bahwa pada sistem yang terdapat energi bangkitan ke sistem maka: energi bangkitan dan energi tersimpan adalah keduanya fenomena volumetrik. Tetapi energi tersimpan tidak sama

dengan energi bangkitan. Energi bangkitan mungkin menjadi energi tersimpan, tetapi energi tersimpan tidak bisa menjadi energi bangkitan.

Laju energi aliran panas dalam suatu saluran dihitung berdasarkan besar kecilnya laju panas yang diterima atau dilepas oleh fluida di dalam saluran tersebut dan dapat dihitung menggunakan persamaan berdasarkan Bejan, Andrian, (2001):

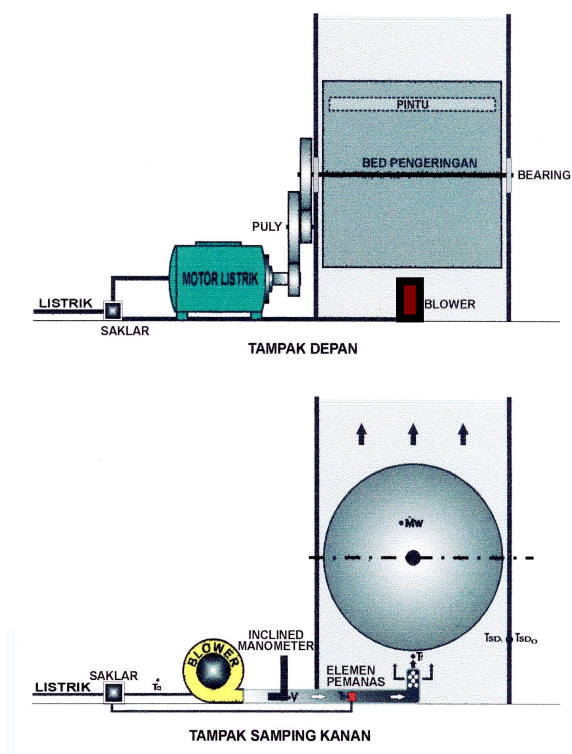
$$\dot{q} = \dot{m} \cdot C_p (T_{in} - T_{out}) \quad (W) \quad (10)$$

$$\dot{q} = \dot{m} \cdot C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (W) \quad (11)$$

jika fluida dalam saluran melepaskan panas maka berlaku persamaan(10) sedangkan jika fluida dalam saluran menerima panas maka berlaku persamaan(11) dimana:  $\dot{m}$  = Laju aliran massa fluida dalam saluran (kg/s),  $C_p$ = kalor spesifik fluida dalam saluran (kJ/kg.K),  $T_{in}$ = temperatur fluida saat memasuki saluran (K),  $T_{out}$  = temperatur fluida saat keluar saluran (K)

### 3. METODE PENELITIAN

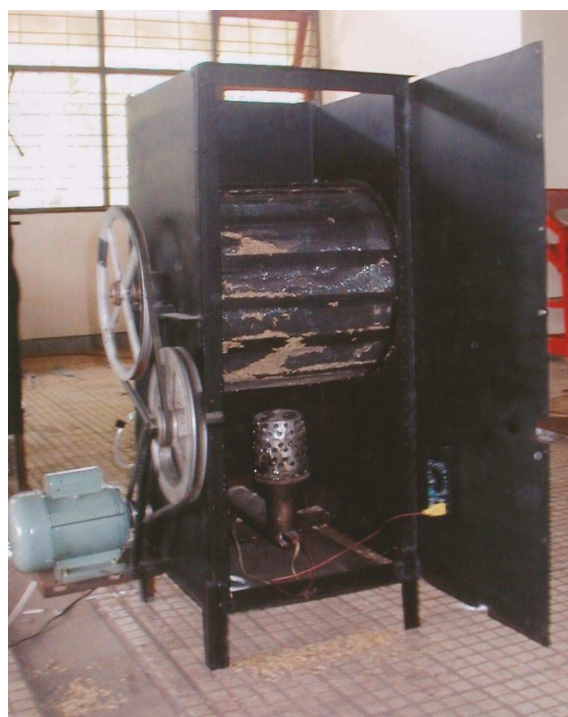
Pada penelitian ini dilakukan pengujian terhadap sebuah prototipe sistem pengering multi material aliran paksa dengan bed pengering berputar. Sistem tersebut seperti terlihat pada gambar 1 merupakan skematikanya dan gambar 2 merupakan prototipe aslinya yang tampak sebagai tampilan depan dengan pintu kondisi terbuka sehingga tampak dengan jelas konstruksi bagian dalam sistemnya.



**Gambar 1.**

Skematik Sistem Pengering Berputar Aliran Paksa

Alat ukur yang digunakan pada pengujian ini meliputi: arloji sebagai alat pengukur waktu, inclined manometer yaitu sebagai pengukur kecepatan aliran fluida pada saluran masuk sistem pengering, timbangan sebagai alat pengukur massa material, termometer digital sebagai alat pengukur: temperatur fluida saluran masuk maupun keluar ruang pengeringan, temperatur material yang dikeringkan, temperatur permukaan luar dan dalam dinding ruang pengeringan.



**Gambar 2.**

Prototipe Sistem Pengering Berputar Aliran Paksa

Data yang diambil pada saat pengujian meliputi: temperatur fluida masuk saluran ruang pengering( $T_{in}$ ), kecepatan aliran fluida pengering masuk saluran ruang pengering( $V$ ), temperatur fluida masuk saluran ruang pengering( $T_{out}$ ), temperatur material yang dikeringkan( $T_{mtl}$ ), massa material yang dikeringkan( $m_{mtl}$ ), temperatur permukaan dalam dinding ruang pengering( $T_{dlm}$ ),temperatur permukaan dalam dinding ruang pengering( $T_{luar}$ ).

Prosedur pengujian prototipe dilakukan sebagai berikut: pertama peralatan ukur diseting sedemikian rupa pada prototipe sehingga terukur dengan mudah data yang diambil. Material yang dikeringkan dimasukkan keruang(Bed) pengeringan yang tidak boleh diisi penuh agar ada kesempatan material untuk bergejolak(beraduk), kemudian saklar kontak yang menghidupkan mesin pemutar ruang pengeringan dihidupkan sehingga ruang pengeringan berputar dengan putaran 60 rpm yang dibuat oleh pulley transmisi putaran, kemudian dihidupkan saklar blower dan elemen pemanas sehingga terjadi pemanasan dan aliran fluida pengering secara paksa

ke ruang pengeringan. Dilakukan pencatatan data pada tiap-tiap selang waktu 15 menit sampai material kering. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali proses pengeringan agar didapatkan data rata-rata pengujian. Setelah didapatkan data-data pengujian selanjutnya dilakukan pengolahan/perhitungan sehingga didapatkan hasil berupa: laju energi masuk sistem pengeringan, laju energi losses keluar dinding ruang pengeringan, laju energi losses keluar sistem (terbuang bersama udara buang bercampur uap), laju energi berguna sistem(energi evaporasi), dan laju perubahan energi tersimpan pada material yang dikeringkan. Hasil ini didapatkan berupa kesetimbangan energi termal sistem ruang pengeringan sebagai fungsi waktu kondisi transient.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

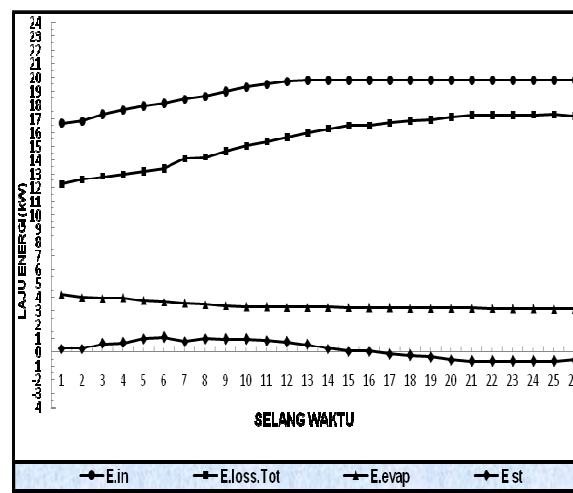
Sebagai hasil pada penelitian ini didapatkan kesetimbangan energi termal transient dari sistem pengeringan berputar aliran paksa seperti terlihat pada tabel 1, dan telah disajikan pula dalam bentuk grafik seperti pada gambar 3. Dari hasil tersebut

**Tabel 1.** Kesetimbangan Energi termal pada ruang pengeringan

$\Delta t$	$\dot{E}_{IN}$ (kW)	$\dot{E}_{OUT}$ (kW)	$\dot{E}_{EVAP}$ (kW)	$\dot{E}_{ST}$ (kW)
1	16.6869	12.2434	4.1887	0.2548
2	16.8466	12.5806	4.0066	0.2595
3	17.3467	12.8059	3.9288	0.6121
4	17.6469	12.9733	3.9674	0.7062
5	17.9470	13.1909	3.7632	0.9929
6	18.1471	13.3991	3.6671	1.0808
7	18.4472	14.0890	3.5717	0.7865
8	18.6473	14.2110	3.4619	0.9744
9	19.0063	14.6549	3.3782	0.9733
10	19.3065	15.0349	3.2986	0.9729
11	19.5065	15.3483	3.2874	0.8709
12	19.7067	15.6621	3.2732	0.7714
13	19.8066	15.9698	3.2664	0.5703
14	19.8065	16.2817	3.2564	0.2684
15	19.8063	16.4908	3.2463	0.0692
16	19.8062	16.5023	3.2368	0.0672
17	19.8061	16.7193	3.2255	-0.1387
18	19.8060	16.8268	3.2137	-0.2345
19	19.8059	16.9341	3.2078	-0.3361
20	19.8057	17.1447	3.1976	-0.5366
21	19.8056	17.2629	3.1837	-0.6409
22	19.8055	17.2726	3.1767	-0.6439
23	19.8054	17.2752	3.1676	-0.6374
24	19.8053	17.2914	3.1536	-0.6397
25	19.8053	17.2967	3.1462	-0.6377
26	19.8052	17.2082	3.1346	-0.5377

terlihat energi berguna sangat kecil berupa energi evaporasi dibandingkan energi masuk sistem. Memang pada sistem pengeringan terjadi kehilangan energi sangat besar terbuang bersama-sama udara buang yang bercampur uap air. Energi masuk ke ruang pengeringan mengalami sedikit peningkatan sehingga energi energi total terbuang bersama-sama

udara buang yang bercampur uap air juga mengalami sedikit peningkatan. Kurva energi berguna terlihat mengalami penurunan terhadap waktu dikarenakan adanya penurunan penguapan air dari material yang dikeringkan. Tetapi penurunan tersebut tidak berupa garis lurus melainkan terdapat sedikit kelengkungan. Itu menandakan bahwa penguapan air pada proses pengeringan mengalami penurunan terhadap waktu karena kandungan air pada material yang dikeringkan mengalami penurunan. Jadi semakin kering material tersebut maka energi berguna juga semakin menurun.



**Gambar 3.** Grafik Kesetimbangan Energi Termal pada Ruang Pengeringan.

Sehingga efisiensi sistem pengeringan pun terlihat jelas mengalami penurunan, karena efisiensi sistem pengeringan merupakan perbandingan antara laju energi berguna dengan laju energi yang masuk sistem. Pada proses pengeringan berlangsung sangat jarang terjadi kondisi steady state karena variabel yang lain seperti energi masuk sistem, energi berguna sistem, energi buang sistem, tidak bisa terjaga konstan. Tetapi walaupun energi tersebut diatas tadi dalam kondisi konstan sulit untuk tercapai kondisi steady state. Yang paling utama berpengaruh pada kondisi steady state suatu sistem adalah energi tersimpan pada sistem tersebut. Energi tersimpan dalam sistem disini diasumsikan adalah energi tersimpan dalam ruang pengeringan sehingga energi yang tersimpan pada material pengeringan tersebut sebagai variabel energi tersimpan. Energi tersimpan dalam sistem tergantung pada massa sistem, kalor spesifik pada tekanan konstan sistem, dan temperatur rata-rata sistem. Dengan demikian massa material pada pada proses pengeringan mengalami penurunan maka energi tersimpan juga mengalami penurunan. Tetapi penelitian ini membahas tentang kesetimbangan energi termal transient sistem, sehingga dihadapkan pada laju perubahan energi tersimpan. Jadi laju perubahan energi tersimpan sebagai kata kunci pembahasan sehingga

memungkinkan laju perubahan energi tersimpan adalah negatif. Kondisi negatif ini menandakan adanya penurunan terhadap energi tersimpan. Sementara laju perubahan energi tersimpan adalah positif menandakan bahwa energi tersimpan mengalami peningkatan, sedangkan kondisi steady state adalah dimana laju perubahan energi tersimpan tersebut adalah nol atau energi tersimpan konstan.

## 5. PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa kehilangan energi yang sangat besar tidak bisa dihindarkan karena energi berguna adalah hasil penguapan air material berupa panas latent.

Penurunan energi berguna sebagai fungsi waktu menyebabkan efisiensi termal sebagai fungsi waktu juga mengalami penurunan, hal tersebut ditandai oleh penurunan massa material karena kondisinya yang semakin kering.

Dari kesetimbangan energi termal tersebut didapatkan juga performansi berupa efisiensi termal sebagai fungsi waktu dan efisiensi termal rata-rata keseluruhan didapatkan sebesar 18%

### 5.2. Saran

Karena keterbatasan peralatan/alat ukur yang ada maka diharapkan kepada penelitian selanjutnya berupaya menggunakan peralatan yang lebih bagus sehingga hasil penelitian lebih akurat.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bejan, Andrian, (2001), Heat Transfer, Duke University, John Willey and Sons Inc., third Edition.
- [2] Duffie, John A. And Beckman, William A, (2006), Solar Engineering and Thermal Processes, John Wiley & Sons, fourth Edition.
- [3] Exell, R.H.B, (1998), Basic Design Theory for Solar Dryer, Renewable Energy Review. Journal, Vol. 5, No. 1.
- [4] W. Fox, Robert and Mc Donald, Alan T.,(1994), Introduction to Fluid Mechanics, John Willey and Sons Inc., Fourth Edition.
- [5] Incropera, Frank P. And De Witt, David P, (2008), Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, Sixth Edition.
- [6] Ricki Murti, Made, (2007), Pemanfaatan Panas Pembakaran Limbah Tempurung Kelapa sebagai Pengering Ikan Upaya Pengawetan, ketua peneliti, Penelitian dana Dirjen Dikti, Jakarta.