

ANALISA KONSUMSI DAN BIAYA ENERGI PADA MESIN PENGERING PAKAN TERNAK SISTEM POMPA KALOR DENGAN DAYA 1 PK

Ronald P Hutagalung¹, Himsar Ambarita², Tulus B. Sitorus³, Dian M. Nasution⁴, Terang UHS Ginting⁵,
Andianto Pintoro⁶, Taufiq B. N⁷, Farel H. Napitupulu⁸

^{1,2,3,4,5,6,7,8}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
Email: ronal_galung@yahoo.com

ABSTRAK

Analisa ini bertujuan untuk mengatasi masalah yang dihadapi para produsen pakan ternak untuk mengeringkan pakan ternak yang sudah dicacah dalam keadaan lembab menjadi kering agar tahan lebih lama. Oleh sebab itu dilakukan perancangan yang bertujuan untuk menghasilkan suatu unit mesin pengering pakan ternak *portable* dengan menggunakan AC rumah yang berorientasikan pada upaya efisiensi energi listrik yang dapat diaplikasikan pada skala kecil dan besar. Analisa konsumsi dan biaya energi pada mesin pengering pakan ternak sistem pompa kalor dengan daya 1 PK ini didasarkan pada hasil perhitungan teoritis dan pompa kalor yang digunakan beroperasi menggunakan siklus kompresi uap menjadi batasan masalahnya. Manfaat penelitian ini adalah untuk memenuhi kebutuhan pengeringan pada sektor peternakan, pertanian, maupun *home industry* khususnya bagi wilayah-wilayah yang memiliki tingkat curah hujan yang tinggi di Indonesia. Kesimpulan perancangan ini diperoleh bahwa nilai laju ekstraksi air spesifik (*Specific Moisture Extraction Rate*) untuk mesin pengering pakan ternak sistem pompa kalor adalah 0.0106 kg/kWh. Besarnya konsumsi energi spesifik (*Specific Energi Consumption*) pada mesin pengering pakan ternak ini adalah 22,787 kWh/kg. Biaya Pokok Produksi yang dibutuhkan untuk proses pengeringan 1 kg pakan ternak dengan menggunakan sistem pompa kalor adalah Rp 20,012,- per kilogram.

Kata kunci: refrigerant, Specific Energi Consumption (SEC), Specific Moisture Extraction Rate (SMER).

1. PENDAHULUAN

Pakan ternak merupakan pengganti makanan ternak dari alam. Pakan ternak di produksi dari industri rumahan ataupun di produksi secara massal. Dalam setiap produksi, produsen pakan ternak biasanya mengeringkan hasil produksinya menggunakan sinar matahari. Jika menggunakan cahaya matahari saja hasil produksi tidak mencukupi permintaan atas pakan ternak di Indonesia. Untuk itu kebutuhan mesin pengering sangat dibutuhkan guna menunjang hasil produksi pakan ternak.

Mesin yang sering di jumpai di pasaran menggunakan alat pemanas (*heater*) dan alat ini menggunakan tenaga arus listrik yang sangat besar. Untuk itu penulis mencoba menggunakan alat yang tidak lajim digunakan di mesin pengering yaitu AC. Panas yang didapat untuk mengeringkan didapat dari kondensor, udara yang beruap air rendah di dikeluarkan oleh evaporator AC tersebut. AC yang digunakan disini adalah jenis AC yang biasa di temukan di pasaran yaitu AC Polytron dengan daya 1 PK.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Teori Pengeringan

Pengeringan adalah proses perpindahan panas dan uap air secara simultan yang memerlukan energi panas untuk menguapkan kandungan air yang dipindahkan dari permukaan bahan yang dikeringkan oleh media pengering yang biasanya berupa panas.

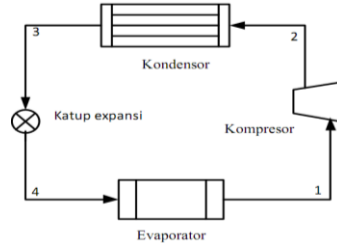
Pengeringan dengan menggunakan alat pengering dimana, suhu, kelembapan udara, kecepatan udara dan waktu dapat diatur dan di awasi.

Keuntungan Pengering Buatan:

- Tidak tergantung cuaca
- Kapasitas pengeringa dapat dipilih sesuai dengan yang diperlukan
- Tidak memerlukan tempat yang luas
- Kondisi pengeringan dapat dikontrol
- Pekerjaan lebih mudah.

2.2. Siklus kompresi Uap

Sistem kompresi uap merupakan dasar sistem *refrigerasi* yang terbanyak di gunakan, dengan komponen utama nya adalah kompresor, evaporator, katup ekspansi (*Throttling Device*), dan kondensor. Keempat komponen tersebut melakukan proses yang saling berhubungan dan membentuk siklus refrigerasi kompresi uap seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :

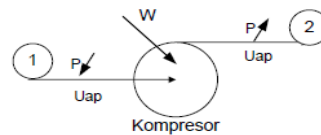


Gambar 2.1. Siklus Kompresi Uap [1] (Cengel, A., Yunus, Boles, A., Michael,1989),

Proses yang terjadi pada Siklus Refrigerasi Kompresi Uap adalah sebagai berikut :

2.2.1 Proses Kompresi (1 – 2)

Proses ini berlangsung di kompresor secara isentropik adiabatik. Kondisi awal refrigeran pada saat masuk di kompresor adalah uap jenuh bertekanan rendah, setelah di kompresi refrigeran menjadi uap bertekanan tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :

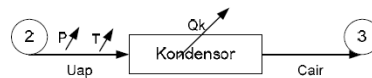


Gambar 2.2. Proses kerja Kompresi [1] (Cengel, A., Yunus, Boles, A., Michael,1989),

$$W = \dot{m} q_w = \dot{m} (h_2 - h_1)$$

2.2.2 Proses Kondensasi (2 – 3)

Proses ini berlangsung di kondensor, refrigeran yang bertekanan dan temperatur tinggi keluar dari kompresor membuang kalor sehingga fasanya berubah menjadi cair seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.3. Proses Kerja Kondensasi [1] (Cengel, A., Yunus, Boles, A., Michael,1989),

$$Q_k = \dot{m} q_c = \dot{m} (h_2 - h_3)$$

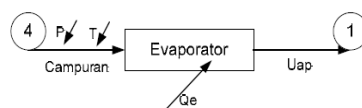
2.2.3 Proses Ekspansi (3 – 4)

Proses ini berlangsung secara isoentalpi, hal ini berarti tidak terjadi penambahanentalpi tetapi terjadi drop tekanan dan penurunan temperatur.

$$h_3 = h_4$$

2.2.4 Proses Evaporasi (4 – 1)

Proses ini berlangsung di evaporator secara isobar isothermal. *Refrigerant* dalam wujud cair bertekanan rendah menyerap kalor dari lingkungan / media yang di dinginkan sehingga wujudnya berubah menjadi gas bertekanan rendah seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.4. Proses Kerja Evaporasi [1] (Cengel, A., Yunus, Boles, A., Michael, 1989),

$$Q_e = \dot{m} q_e = \dot{m} (h_1 - h_4)$$

2.3. Komponen Utama Pompa Kalor Siklus Kompresi Uap

2.3.1 Kompresor

Pada sistem mesin *refrigerasi*, kompresor berfungsi seperti jantung. Kompresor berfungsi untuk mensirkulasikan *refrigeran* dan menaikkan tekanan refrigerant agar dapat mengembun di kondensor pada temperatur di atas temperatur udara sekeliling.

2.3.2 Kondensor

Kondensor berfungsi sebagai untuk membuang kalor ke lingkungan, sehingga uap refrigeran akan mengembun dan berubah fasa dari uap ke cair. Sebelum masuk ke kondenser refrigeran berupa uap yang bertemperatur dan bertekanan tinggi, sedangkan setelah keluar dari kondenser refrigeran berupa cairan jenuh yang bertemperatur lebih rendah dan bertekanan sama (tinggi) seperti sebelum masuk ke kondensor.

2.3.3 Katup Ekspansi

Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi. Katup ekspansi ini dipergunakan untuk menurunkan tekanan dan untuk mengekspansikan secara adiabatik cairan yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat tekanan dan temperatur rendah, atau mengekspansikan refrigeran cair dari tekanan kondensasi ke tekanan evaporasi, refrigeran cair diinjeksikan keluar melalui *orifice*, refrigeran segera berubah menjadi kabut yang tekanan dan temperaturnya rendah.

Selain itu, katup ekspansi juga sebagai alat kontrol refrigerasi yang berfungsi :

1. Mengatur jumlah refrigeran yang mengalir dari pipa cair menuju evaporator sesuai dengan laju penguapan pada evaporator.
2. Mempertahankan perbedaan tekanan antara kondensor dan evaporator agar penguapan pada evaporator berlangsung pada tekanan kerjanya

2.3.4 Evaporator

Evaporator berfungsi melakukan perpindahan kalor dari ruangan yang didinginkan ke refrigeran yang mengalir di dalamnya melalui permukaan dindingnya. Pada diagram $P - h$ dari siklus kompresi uap sederhana, evaporator mempunyai tugas merealisasikan garis 1–4. Setelah refrigeran turun dari kondensor melalui katup ekspansi masuk ke evaporator dan di uapkan, kemudian dikirim ke kompresor. Pada prinsipnya evaporator hampir sama dengan kondensor, yaitu sama – sama APK yang fungsinya mengubah fasa refrigeran. Bedanya, jika pada kondensor refrigeran berubah dari uap menjadi cair, maka pada evaporator berubah dari cair menjadi uap.

2.4. Refrigerant

Refrigerant adalah fluida kerja utama pada suatu siklus refrigerasi yang bertugas menyerap panas pada temperatur dan tekanan rendah dan membuang panas pada temperatur dan tekanan tinggi. Umumnya refrigerant mengalami perubahan fasa dalam satu siklus.

1. Kecepatan refrigeran pada Evaporator di titik 4

$$V_4 = w \cdot v_4$$

2. Bilangan Reynolds

$$Re = V_3 \cdot D / \mu \cdot v_4$$

3. Faktor gesek

$$f = 0,33 / Re^{0,25}$$

4. Faktor gesek rata-rata untuk tiap ruas

$$f_m = \frac{f_3 + f_4}{2}$$

5. Kecepatan rata-rata refrigeran

$$V_m = \frac{V_3 + V_4}{2}$$

$$\left[(P_3 - P_4) - f_m x \frac{\Delta L}{D} x \frac{V_m^2}{2v} \right] A = \dot{m}(V_4 - V_3)$$

1. Pengelompokan Refrigerant

Refrigerant dirancang untuk ditempatkan didalam siklus tertutup atau tidak bercampur dengan udara luar. Tetapi, jika ada kebocoran karena sesuatu hal yang tidak diinginkan, maka refrigerant akan keluar dari system dan bisa saja terhirup manusia. Untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan maka refrigerant harus dikategorikan aman atau tidak aman. Ada dua faktor yang digunakan untuk mengklasifikasikan refrigerant berdasarkan keamanan, yaitu bersifat racun (*toxicity*) dan bersifat mudah terbakar (*flammability*).

Refrigerant ini akan terbakar jika konsentrasinya kurang dari 0,1 kg kg/m³ atau kalor pembakarannya lebih dari 19 MJ/kg. Berdasarkan defenisi ini, sesuai standard 34-1997, refrigerants diklasifikasikan menjadi 6 kategori ,[2] (*Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Edisi II, W.F. Stoecker*), yaitu:

1. A1: Sifat racun rendah dan tidak terbakar
2. A2: Sifat racun rendah dan sifat terbakar rendah
3. A3: Sifat racun rendah dan mudah terbakar
4. B1: Sifat racun lebih tinggi dan tidak terbakar
5. B2: Sifat racun lebih tinggi dan sifat terbakar rendah
- B3: Sifat racun lebih tinggi dan mudah terbakar.

Tabel 2.1 Pembagian Refrigerant berdasarkan keamanan [3] *ASHRAE Inc., (2008). ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. SI Edition. Atlanta.*

Refrigerant number	Chemical Formula	Safety group	
		Old	New
10	CCl ₄	2	B1
11	CCl ₃ F	1	A1
12	CCl ₂ F ₂	1	A1
13	CClF ₃	1	A1
13B1	CBrF ₃	1	A1
14	CF ₄	1	A1
21	CHCl ₂ F	2	B1
22	CHClF ₂	1	A1
23	CHF ₃		A1
30	CH ₂ Cl ₂	2	B2
32	CH ₂ F ₂		A2
40	CH ₃ Cl	2	B2
50	CH ₄	3a	A3
113	CCl ₂ FCClF ₂	1	A1
114	CClF ₂ CClF ₂	1	A1
115	CClF ₂ CF ₃	1	A1
116	CF ₃ CF ₃		A1
123	CHCl ₂ CF ₃		B1
124	CHClFCF ₃		A1
125	CHF ₂ CF ₃		A1
134a	CF ₃ CH ₂ F		A1
142b	CClF ₂ CH ₃	3b	A2
143a	CF ₃ CH ₃		A2
152a	CHF ₂ CH ₃	3b	A2
170	CH ₃ CH ₃	3a	A3
218	CF ₃ CF ₂ CF ₃		A1

2. 5 Pengering Pompa Kalor

Melalui skema siklus refrigrasi kompresi uap, panas yang dikeluarkan oleh kondensor beserta udara keluaran evaporator yang mempunyai RH rendah dialirkan ke saluran pengeringan dan dimanfaatkan untuk mengeringkan pakan ternak. Udara panas dari kondensor dialirkan ke saluran pengeringan. Proses pengeringan terjadi pada saat pakan ternak dijatuhkan dari tower pengering

masuk melalui pipa saluran pengeringan lalu ditampung dibawah dan dilakukan berulang sampai pakan ternak cukup kering dan selanjutnya udara hasil pengeringan dibuang ke udara bebas. Demikian seterusnya siklus dari udara pengering tersebut bersikulasi.

2. 6 Kinerja Alat pengering

Kinerja alat pengering salah satunya dapat ditentukan dari efisiensi pengeringan. Efisiensi pengeringan merupakan perbandingan antara energi yang digunakan untuk menguapkan kandungan air bahan dengan energi untuk memanaskan udara pengering. Efisiensi pengeringan biasanya dinyatakan dalam persen. Semakin tinggi nilai efisiensi pengeringan maka alat pengering tersebut semakin baik.

2. 7 Nilai Laju Ekstraksi Air Spesifik (Specific Moisture Extraction Rate)

Nilai laju ekstraksi air spesifik atau *specific moisture extraction rate* (SMER) merupakan perbandingan jumlah air yang dapat diuapkan dari bahan dengan energi listrik yang digunakan tiap jam atau energi yang dibutuhkan untuk menghilangkan 1 kg air . Dinyatakan dalam kg/kWh.

Perhitungan SMER menggunakan persamaan ,[4] (Mahlia, Hor and Masjuki 2010):

$$SMER = \frac{X}{m_{udara} \times Cp \times (T_{in} - T_{out}) + Wc}$$

2. 8 Konsumsi Energi Spesifik (Specific Energy Consumption)

Energi yang dikonsumsi spesifik atau *specific energy consumption* (SEC) adalah perbandingan energi yang dikonsumsi dengan kandungan air yang hilang, dinyatakan dalam kWh/kg dan dihitung dengan menggunakan persamaan ,[4] (Mahlia, Hor and Masjuki 2010):

$$SEC = \frac{m_{udara} \times Cp \times (T_{in} - T_{out}) + Wc}{X}$$

2. 9 Biaya Pokok Produksi

Biaya pokok produksi merupakan biaya yang dibutuhkan dalam menguapkan 1 kg air dalam satuan rupiah/kWh. Dalam hal ini biaya pokok produksi merupakan perkalian antara *specific energy consumption* (kWh/kg) dengan tarif dasar listrik (Rupiah/kWh).

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu Penelitian.

Penelitian dilakukan di laboratorium Teknik pendingin Departemen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara dan direncanakan dilaksanakan selama 5 bulan.

Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaan penelitian

No	Uraian Kegiatan	Tahun 2013-2014				
		Okt	Nov	Des	Jan	Feb
1	Penyusunan Proposal	■				
2	Merancang Mesin		■			
3	Asembling Alat		■	■		
4	Pengujian alat dan pengumpulan data				■	
5	Analisis data dan Penulisan laporan penelitian				■	
6	Seminar hasil					■
7	Perbaikan					
8	Sidang Sarjana					■

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan.

1. Pakan



Gambar 3.1 Pakan ternak yang sudah dicacah.

2. Pompa Kalor (*Heat Pump*)



Gambar 3.2 Rancangan Mesin Pengering Pompa Kalor.

3.2.2 Alat

Peralatan yang digunakan untuk mengukur variabel-variabel penelitian, antara lain:

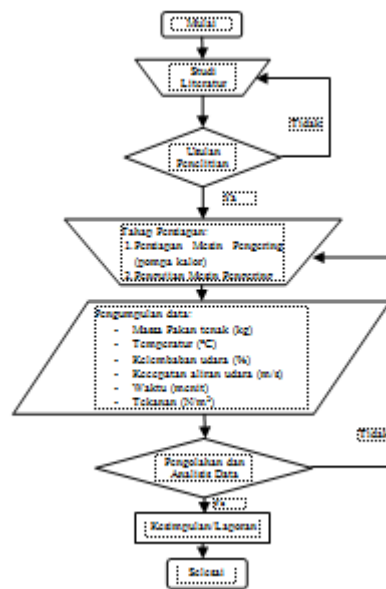
1. *Load Cell*
2. *Rh (Relative Humidity) Meter*
3. *Anemometer*
4. *Pressure Gauge*

3.3 Data Penelitian

Adapun data yang direncanakan akan dikumpulkan dan selanjutnya dilakukan analisis dalam penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut :

1. Massa Pakan Ternak (M)
Massa dari pakan di ukur pada saat keadaan basah dan pada saat keadaan kering.
2. Waktu pengeringan (t)
Waktu pengeringan yang dibutuhkan untuk mengeringkan pakan.
3. Temperatur (T)
Temperatur yang di ukur adalah temperatur udara pada saat masuk ke evaporator (T_1), masuk kondensor (T_2), keluar kondensor (T_3) dan keluar ruang pengeringan (T_4).
4. Kelembaban udara (Rh)
Kelembaban udara yang diukur pada titik saat masuk ke evaporator (Rh_1), keluar evaporator (Rh_2), ruang pengeringan (Rh_3) dan keluar ruang pengeringan (Rh_4).
5. Kecepatan aliran udara (V)
Udara yang mengalir didalam saluran aliran di ukur kecepatannya.
6. Tekanan (P)
Refrigeran yang masuk ke dalam kompresor (P_1), ke luar kompresor (P_2) dan masuk ke dalam evaporator (P_3) di ukur tekanannya.
7. Kuat Arus (I)
8. Tegangan (V)

3. 4 Metode Pelaksanaan Penelitian



Gambar 3.3 Diagram alir proses pelaksanaan penelitian.

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.

4.1. Data Hasil Pengujian

Dari hasil pengujian mesin pengering pakan ternak dengan beban 1 kg pakan ternak didapat data sebagai :

Tabel 4.1 Hasil pengujian pengeringan

No	Waktu	T _{in} (°C)	T _{out} (°C)	V (Volt)	I (A)	X (ml)	v (m/s ²)	ρ (kg/m ³)	C _p (kJ/kgC)
1	13.16	33,5	28	200	6	0	0,817	1,1738	1,0059
2	13.21	33,5	30	200	6	20	1,135	1,1671	1,0059
3	13.26	33,5	29	200	6	30	1,187	1,1702	1,0059
4	13.31	34	29,5	200	6	35	1,245	1,1684	1,0059
5	13.36	33,5	28,5	200	6	40	1,136	1,1720	1,0059
6	13.41	34,5	29	200	6	45	1,103	1,1702	1,0059
7	13.46	33,5	30	200	6	50	1,05	1,1671	1,0059
8	13.51	33,5	28,5	200	6	55	0,908	1,1720	1,0059

Dari tabel pengujian diperoleh suhu udara masuk 28^oC maka massa jenis udara (ρ) sebesar 1,1738 (Selanjutnya dalam bentuk tabel)

Dari tabel pengujian diperoleh suhu udara masuk 28^oC maka panas jenis udara (C_p) sebesar 1,0059 (Selanjutnya dalam bentuk tabel)

4.2. Laju Pengeringan

Laju pengeringan dapat di hitung dengan rumus :

$$\dot{m}_d = \frac{W_o - W_f}{t}$$

$$= \frac{1kg - 0,875kg}{0,5 jam} = 0,25 kg/jam$$

4.3. Nilai laju Ekstraksi Air Spesifik

Untuk menghitung nilai laju ekstraksi air spesifik atau *specific moisture extraction rate* (SMER) pengeringan diperoleh dengan rumus :

$$SMER = \frac{X}{m_{udara} \times Cp \times (T_{in} - T_{out}) + Wc}$$

- ❖ Untuk 5 menit pertama = 0,016kg/kWh
- ❖ Untuk 5 menit kedua = 0,0232kg/kWh
- ❖ Untuk 5 menit ketiga = 0,0273kg/kWh
- ❖ Untuk 5 menit keempat = 0,031kg/kWh
- ❖ Untuk 5 menit kelima = 0,0355kg/kWh
- ❖ Untuk 5 menit keenam = 0,040kg/kWh
- ❖ Untuk 5 menit ketujuh = 0,043kg/kWh

4.4. Konsumsi Energi Spesifik

Untuk menghitung konsumsi energi spesifik atau specific energy consumption (SEC) kita menggunakan rumus sebagai berikut :

$$SEC = \frac{m_{udara} \times Cp \times (T_{in} - T_{out}) + Wc}{X}$$

- ❖ Untuk 5 menit pertama = 62,3kWh/kg
- ❖ Untuk 5 menit kedua = 43,03kWh/kg
- ❖ Untuk 5 menit ketiga = 36,53kWh/kg
- ❖ Untuk 5 menit keempat = 31,67kWh/kg
- ❖ Untuk 5 menit kelima = 28,13kWh/kg
- ❖ Untuk 5 menit keenam = 24,84kWh/kg
- ❖ Untuk 5 menit ketujuh = 22,78kWh/kg

4.4. Konsumsi Energi Spesifik

Dalam menentukan biaya produksi diperoleh dengan menggunakan persamaan energi yang dikonsumsi spesifik atau *specific energy consumption* (SEC) yang dinyatakan dalam kWh/kg dikali dengan tarif dasar listrik. Untuk harga tarif dasar listrik dibebankan sebesar Rp 966 per kWh.

- ❖ Untuk 5 menit pertama = Rp 60.181,-
- ❖ Untuk 5 menit kedua = Rp 41.570,-
- ❖ Untuk 5 menit ketiga = Rp 35.292,-
- ❖ Untuk 5 menit keempat = Rp 30.593,-
- ❖ Untuk 5 menit kelima = Rp 28.13,-
- ❖ Untuk 5 menit keenam = Rp 24.84,-
- ❖ Untuk 5 menit ketujuh = Rp 22.787,-

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan analisa data dapat disimpulkan bahwa nilai laju ekstraksi air spesifik atau *Specific Moisture Extraction Rate* (SMER) adalah 0.0106 kg/kWh. SMER untuk mesin pengering pakan ternak sistem pompa kalor berbanding lurus dengan dengan temperatur udara keluar evaporator, dan berbanding lurus terhadap waktu.
3. Konsumsi energi spesifik (*Specific Energi Consumption*) untuk mesin pengering pakan ternak sistem pompa kalor dengan daya 1 PK adalah 22,787kWh/kg. SEC berbanding terbalik dengan laju ekstraksi air spesifik (*Specific Moisture Extraction Rate*) dan berbanding lurus dengan biaya produksi. Semakin kecil konsumsi energi spesifik, maka biaya produksi semakin kecil.
4. Biaya yang dibutuhkan untuk proses pengeringan pakan ternak dengan sistem pompa kalor adalah Rp 20,012,- per kilogram.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Cengel, A., Yunus, Boles, A., Michael, Thermodynamics An engineering Approach, Third Edition, WCB/ McGraw-Hill, United States of America, 1989.
- [2] Wilbert F.Stoecker, Jerold W.Jones, Supratman Hara, Refrigerasi dan Pengkondisian Udara, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1989.
- [3] ASHRAE Inc. (2008). ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. SI Edition. Atlanta.
- [4] Mahlia, T.M.I., et al., 2010. Clothes drying from room air conditioning waste heat: thermodynamics investigation. Arabian Journal for Science and Engineering.