

ANALISA PERHITUNGAN KONSUMSI DAN BIAYA ENERGI UNTUK MESIN PENGERING PAKAIAN SISTEM POMPA KALOR DENGAN DAYA 1 PK

Syalimono S¹, Himsar Ambarita², Farida Ariani³, Alfian Hamsi⁴, Tugiman⁵, Syahril Gultom⁶

^{1,2,3,4,5,6}Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara

Email: syalimono.shn@gmail.com

ABSTRAK

Analisa ini bertujuan untuk mengatasi masalah yang dihadapi usaha laundry pada penyediaan mesin untuk mencuci dan pengering yang dapat bekerja cepat. Oleh sebab itu dilakukan perancangan yang bertujuan untuk menghasilkan suatu unit mesin pengering pakaian *portable* dengan menggunakan AC rumah yang berorientasikan pada upaya efisiensi energi listrik yang dapat diaplikasikan pada skala kecil dan besar. Analisa perhitungan konsumsi dan biaya energi untuk mesin pengering pakaian sistem pompa kalor dengan daya 1 Pk 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 pakaian pada sektor rumah tangga, khususnya usaha laundry di Indonesia. Metode yang digunakan untuk mencapai tujuan melalui perhitungan termodinamika dengan refrigeran yang dipakai HCFC-22. Kesimpulan perancangan ini diperoleh *Specific Energy Consumption* (SEC) berbanding terbalik dengan *Specific Moisture Extraction Rate* (SMER). Untuk pengujian pengeringan kemeja memiliki rata-rata 22 kWh/kg dan pengeringan 1 pc celana jeans 41 kWh/kg. Dengan Biaya yang dibutuhkan untuk proses pengeringan dengan menggunakan sistem pompa kalor berikut berkisar Rp 46,625,- per kilogram air.

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

1. PENDAHULUAN

Dalam kegiatan pencucian pakaian dibutuhkan proses pengeringan. Pada saat ini proses pengeringan sangat dibutuhkan terutama dalam, usaha laundry. Proses pengeringan matahari sangat menghambat kegiatan jika hujan turun. Hal ini membuat orang berpikir untuk membuka sebuah peluang usaha. Laundry merupakan salah satu jalan keluar dari masalah ini. Mulai dari mahasiswa, rumah tangga, rumah sakit, perhotelan, dan berbagai industri yang membutuhkan pengering. Kesibukan masyarakat dan minimnya waktu yang dimiliki masyarakat membuat usaha ini sangat berkembang pesat dan tumbuh subur khususnya di daerah perkotaan. Kendala yang dihadapi dalam membuka usaha ini adalah mahalnnya mesin pengering, boros energi terutama jika menggunakan mesin pengering biasa. Hal inilah yang melatar belakangi pembuatan mesin ini.

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 engering yang biasanya berupa panas.

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

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 Jenis Jenis Pengeringan Buatan

Berdasarkan media panasnya,

- Pengeringan adiabatik ; pengeringan dimana panas dibawa ke alat pengering oleh udara panas, fungsi udara memberi panas dan membawa air.
- Pengeringan isotermik; bahan yang dikeringkan berhubungan langsung dengan alat/ plat logam yang panas.

Proses pengeringan:

- Proses pengeringan diperoleh dengan cara penguapan air
- Dengan cara menurunkan RH dengan mengalirkan udara panas disekeliling bahan
- Proses perpindahan panas; proses pemanasan dan terjadi panas sensible dari medium pemanas ke bahan, dari permukaan bahan ke pusat bahan.
- Proses perpindahan massa ; proses pengeringan (penguapan), terjadi panas laten, dari permukaan bahan ke udara
- Panas sensible ; panas yang dibutuhkan/ dilepaskan untuk menaikkan /menurunkan suhu suatu benda
- Panas laten ; panas yang diperlukan untuk mengubah wujud zat dari padat ke cair, cair ke gas, dst, tanpa mengubah suhu benda tersebut.

Faktor faktor yang mempengaruhi pengeringan.

Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk memperoleh kecepatan pengeringan maksimum, yaitu :

- (a) Luas permukaan
- (b) Suhu
- (c) Kecepatan udara
- (d) Kelembapan udara
- (e) Tekanan atm dan vakum
- (f) Waktu.

Dalam rancang mesin ini faktor yang perlu diperhatikan untuk memperoleh kecepatan pengeringan maksimum adalah :

- **Suhu**

Semakin besar perbedaan suhu (antara medium pemanas dengan bahan bahan) maka akan semakin cepat proses pindah panas berlangsung sehingga mengakibatkan proses penguapan semakin cepat pula.

- **Kecepatan udara**

Umumnya udara yang bergerak akan lebih banyak mengambil uap air dari permukaan bahan yang dikeringkan.

- **Kelembaban Udara (RH)**

Semakin lembab udara di dalam ruang pengering dan sekitarnya maka akan semakin lama proses pengeringan berlangsung kering, begitu juga sebaliknya.

Jika RH udara < RH keseimbangan maka bahan masih dapat dikeringkan

Jika RH udara > RH keseimbangan maka bahan malahan akan menarik uap air dari udara.

- **Waktu**

Semakin lama waktu (batas tertentu) pengeringan maka akan semakin cepat proses pengeringan selesai.

2.3. Siklus kompresi Uap

2.3.1 Siklus Refrigerasi kompresi uap

Komponen utama dari sebuah siklus kompresi uap adalah :

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:

Kompresor yang memerangkap refrigeran dalam suatu ruangan yang terpisah dari saluran masuk dan keluarnya, kemudian dimampatkan. Kompresor ini dapat dibagi lagi menjadi:

- a. Kompresor torak (*reciprocating*)
- b. Kompresor putar (*rotary*)
- c. Kompresor sudu luncur (*rotary vane atau sliding vane*)
- d. Kompresor ulir (*screw*)
- e. Kompresor gulung (*Scroll*)

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 kondenser.

3. Katup Ekspansi,

Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi.

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.

4. Evaporator

Berfungsi melakukan perpindahan kalor dari ruangan yang didinginkan ke refrigeran yang mengalir di dalamnya melalui permukaan dindingnya.

Kompresor ini dapat dibagi lagi menjadi:

- c. Kompresor torak (*reciprocating*)
- d. Kompresor putar (*rotary*)
- c. Kompresor sudu luncur (*rotary vane atau sliding vane*)
- d. Kompresor ulir (*screw*)
- e. Kompresor gulung (*Scroll*)

5. Kondensor,

Kondensor berfungsi sebagai untuk membuang kalor ke lingkungan, sehingga uap refrigeran akan mengembun dan berubah fasa dari uap ke cair.

6. Katup Ekspansi,

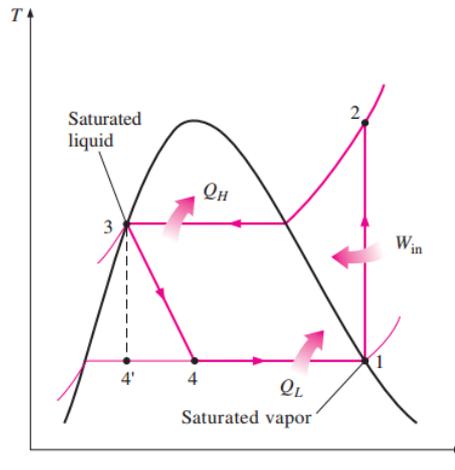
Komponen utama yang lain untuk mesin refrigerasi adalah katup ekspansi.

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

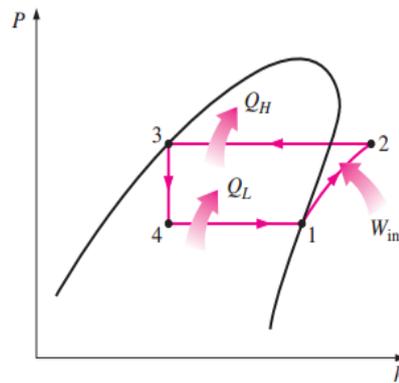
1. Mengatur jumlah refrigeran yang mengalir dari pipa cair menuju evaporator sesuai dengan laju penguapan pada evaporator.
2. Mempertahankan perbedaan tekanan antara kondensor dan evaporator agar penguapan pada evaporator berlangsung pada tekanan kerjanya.

7. Evaporator,

Berfungsi melakukan perpindahan kalor dari ruangan yang didinginkan ke refrigeran yang mengalir di dalamnya melalui permukaannya.



(a) Diagram T-s



(b) Diagram P-h

Gambar 2.3 Skema, diagram T-s dan diagram P-h dari siklus refrigrasi kompresi uap.

Dari gambar diatas, Siklus ini terdiri dari 4 proses, yaitu:

1-2 : Proses kompresi

Proses berlangsung dalam kompresor dan berlangsung secara isentropik adiabatik. Refrigeran meninggalkan evaporator dalam wujud uap jenuh dengan temperatur dan tekanan rendah, kemudian masuk dalam kompresor.

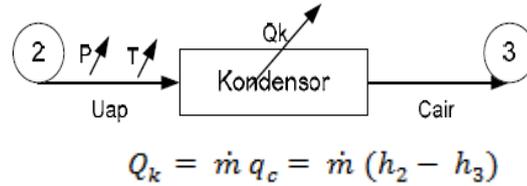
Dalam pengujian besarnya daya kompresor untuk melakukan kerja dapat juga ditentukan dengan rumus:

$$P = V \times I \times \cos \varphi$$

2-3 : Proses kondensasi (pengembunan)

Proses berlangsung dalam kondensor. Refrigeran yang berasal dari kompresor dengan tekanan tinggi dan temperatur tinggi masuk kedalam kondensor untuk mengubah wujudnya menjadi cair.

Besarnya kalor per satuan waktu yang dilepaskan di kondensor dinyatakan sebagai:



3-4 : Proses ekspansi

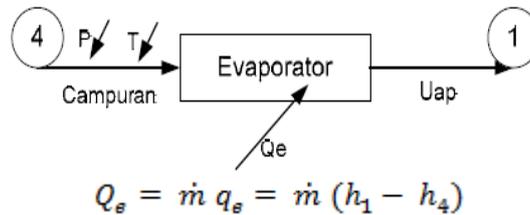
Refrigeran (dalam wujud cair jenuh) mengalir melalui katup ekspansi. Refrigeran mengalami ekspansi pada entalpi konstan dan berlangsung secara irreversibel. Terjadi penurunan tekanan dan temperatur.

4-1 : Proses evaporasi (penguapan)

Proses terjadi didalam evaporator dan berlangsung secara isobar isothermal (tekanan konstan dan temperatur konstan). Refrigeran (fasa campuran uap-cair) mengalir melalui evaporator. Panas dari lingkungan diserap refrigeran melalui evaporator.

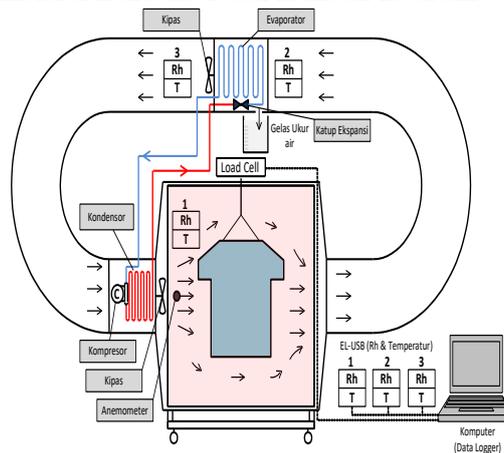
Proses ini berlangsung di evaporator secara isobar isothermal. Refrigeran dalam wujud cair bertekanan rendah menyerap kalor dari lingkungan atau media yang didinginkan sehingga wujudnya berubah menjadi gas bertekanan rendah.

Besarnya kalor yang diserap evaporator adalah :



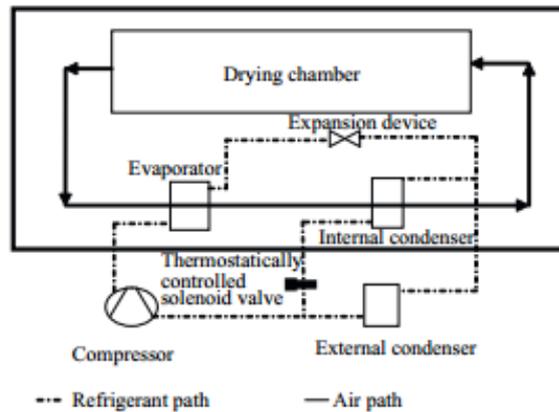
2.1.1 COP Pengering Pompa Kalor

Prinsip kerja pengering pakaian pompa kalor diilustrasikan seperti gambar 2.4. Pompa kalor memberikan panas dengan mengekstraksi energi dari udara sekitar. Panas kering udara diproses memasuki belakang drum dan berinteraksi dengan cucian. Udara lembab yang hangat dari drum diproses melalui layar serat dan melalui evaporator dimana sebagian besar kelembaban akan di hilangkan sebelum mengalir melalui kondensor dan kembali ke drum.



Gambar 2.4 Diagram Pengering Pakaian Pompa Kalor

Melalui skema siklus refrigrasi kompresi uap, panas yang dikeluarkan oleh kondensor dimanfaatkan untuk mengeringkan pakaian. Udara panas dari kondensor dialirkan ke ruang pengeringan, selanjutnya udara hasil pengeringan menjadi lembab (basah). Udara dari ruang pengeringan kemudian dialirkan ke evaporator untuk didinginkan dan dikeringkan, udara tersebut selanjutnya akan menuju kondensor untuk dipanaskan. Demikian seterusnya siklus dari udara pengering tersebut bersikulasi. Skema dari pengering pakaian ini terlihat pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skema pengeringan

2.2 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 abahan dengan energi untuk memanaskan udara pengering. Efisiensi pengeringan biasanya dinyatakan dalam persen. Semakin tinggi nilai efisiensi pengeringan maka alat pengering tersebut semakin baik.

2.2.1 Efisiensi Pengeringan

Perhitungan efisiensi pengeringan dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan:

$$\eta = \frac{Q_p}{Q} \times 100\%$$

2.2.2 Specific Moisture Extraction Rate (SMER)

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^[3]:

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

Dimana :

- M_{udara} = laju aliran massa udara (kg/s)
- Cp = Panas Jenis udara (kJ/kg)
- T_{in} = Temperatur udara masuk evaporator ($^{\circ}C$)
- T_{out} = Temperatur udara keluar evaporator ($^{\circ}C$)
- Wc = Daya kompressor (kW)

2.2.3 Specific Energy Consumption (SEC)

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^[1]:

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

Dimana x adalah kandungan air yang hilang.

2.2.4 Biaya Pokok Produksi

Biaya pokok produksi merupakan biaya yang dibutuhkan dalam menguapkan 1 kg air dalam satuan rupiah/kg. Dalam hal ini biaya pokok produksi merupakan perkalian antara *specific energy consumption* (kWh/kg) dengan tarif dasar listrik (Rupiah/kWh)^[2]:

$$P = \frac{Q_e}{W_c}$$

3. METODE STUDI DAN PERANCANGAN

3.1 Tempat dan Waktu Studi Dan Perancangan

Perancangan dilakukan di laboratorium teknik pendingin Departemen Teknik Mesin Sumatera Utara dan direncanakan dilaksanakan dalam 9 bulan.

3.2. Bahan dan Alat

3.2.1 Bahan.

1. Pakaian
2. Pompa Kalor (*Heat Pump*)
3. Refrigeran



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 Studi Dan Perancangan

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

1. Massa Pakaian (M)
Massa dari pakaian di ukur pada saat keadaan kering (M_k) dan pada saat keadaan basah (M_b).
2. Waktu pengeringan (t)
Waktu pengeringan yang dibutuhkan untuk mengeringkan pakaian yaitu pada saat basah sampai pada saat keadaan kering (berat basah sampai berat kering).
3. Temperatur (T)
Temperatur yang di ukur adalah temperatur udara pada saat masuk ke evaporator (T_1), keluar evaporator (T_2), ruang pengeringan (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.

3.4 Metode Pelaksanaan Studi Dan Perancangan

Metode pelaksanaan perancangan ini di mulai dengan studi literatur dan dilanjut dengan usulan perancangan, setelah di usulkan baru dilakukan pembuatan alat atau mesin. Sesudah mesin selesai dibuat, masuk ketahap persiapan mesin pengering (pompa kalor) dan pengujian mesin pengering. Setelah didapat data dari hasil pengujian, selanjutnya pengumpulan data seperti data: masa pakaian (kg), temperatur ($^{\circ}C$), Kecepatan aliran (m/s), waktu (menit), tegangan (volt) dan kuat arus (A). Setelah data terkumpul langkah selanjutnya adalah mengolah dan menganalisis data, dan yang terakhir adalah menyimpulkan hasil pengolahan data dan analisis data.

4. PERANCANGAN KOMPONEN MESIN PENDINGIN

4.1 SMER (Nilai laju ekstraksi air spesifik atau *specific moisture extraction rate*)

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

$$\begin{aligned} m_{udara} &= v \cdot A \cdot \rho \\ &= 0,733 \text{ m/s} \times 0,3115 \text{ m}^2 \times 1,134 \text{ kg/m}^3 \\ &= 0,259 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Cp &= \frac{(T_1 + T_2)}{2} \\ &= \frac{(41,5 + 26,5)}{2} \\ &= 34^{\circ}C \text{ (lihat tabel } \textit{properties of air}) \\ &= 1.005 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Wc &= V \times I \times \cos \phi \\ &= 200 \text{ volt} \times 5 \text{ A} \times 0,8 \\ &= 800 \text{ watt} = 0,8 \text{ kW} \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned} SMER &= \frac{X}{m_{udara} \times Cp \times (T_{in} - T_{out}) + Wc} \\ &= \frac{0,011}{0,259 \times 1,005(41.5 - 26.5) + 0.8} \\ &= 0,803 \text{ kg/kWh} \end{aligned}$$

4.2 SEC (Energi yang dikonsumsi spesifik atau *specific energy consumption*)

Untuk menghitung SEC kita menggunakan rumus sebagai berikut :

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

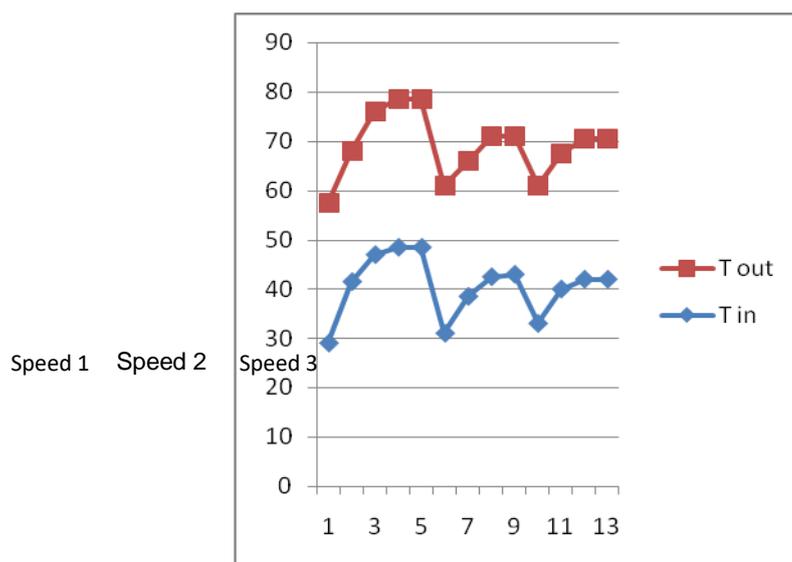
Pada bagian ini m_{udara} , Cp , T_{in} , T_{out} , dan Wc adalah sama. Maka SEC dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{SEC} &= \frac{m_{\text{udara}} \times C_p \times (T_{\text{in}} - T_{\text{out}}) + Wc}{X} \\
 &= \frac{0,259 \times 1,005 \times (41,5 - 26,5) + 0,8}{0,011} \\
 &= 76,631 \text{ kWh/kg}
 \end{aligned}$$

4.3 Biaya Pokok Produksi

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.

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Pokok Produksi} &= \text{SEC} \times \text{Tarif dasar listrik} \\
 &= 76,631 \text{ kWh/kg} \times \text{Rp } 966,- \\
 &= \text{Rp } 74.025,- /\text{kg}
 \end{aligned}$$



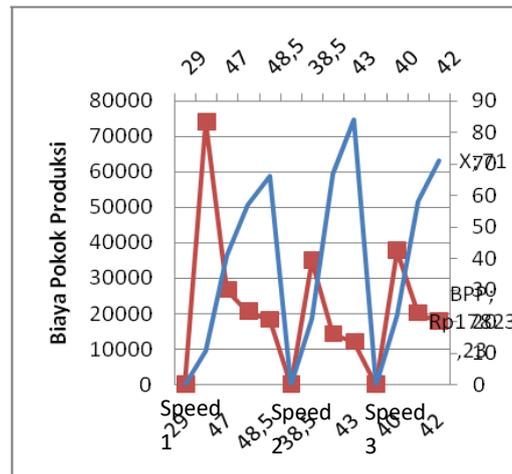
Grafik 4.1 Temperatur Inlet Evaporator Vs Outlet Evaporator Untuk Percobaan 1 Pc Kemeja Dalam Beragam Kecepatan Fan

Laju aliran udara dalam mesin pengering tipe *heat pump* berpengaruh terhadap nilai temperatur masuk dan keluar evaporator. Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa temperatur inlet evaporator pada speed 1 lebih tinggi daripada speed 2 dan speed 3, temperatur inlet pada speed 2 lebih tinggi dari speed 3.



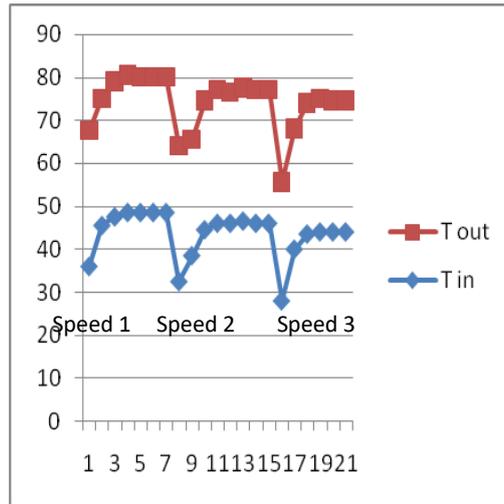
Grafik 4.3 Hubungan Antara Temperatur Inlet Evaporator Dengan Volume Air Sisa Dan Biaya Pokok Produksi Untuk Percobaan 1 Pc Kemeja

Grafik di atas menunjukkan bahwa mesin pengering memiliki biaya pokok produksi yang lebih besar saat *start up*, dan semakin tinggi temperatur inlet evaporator maka biaya produksi akan semakin murah



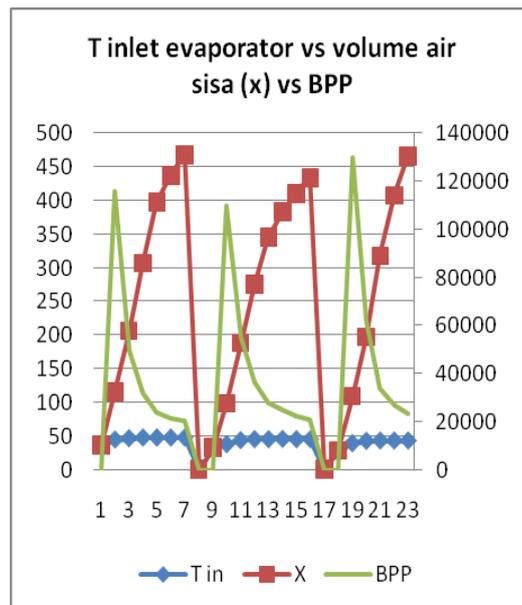
Grafik 4.2 Hubungan Antara Temperatur Inlet Evaporator Dengan Volume Air Sisa Dan Biaya Pokok Produksi Untuk Percobaan 1 Pc Kemeja

Grafik di atas menunjukkan bahwa mesin pengering memiliki biaya pokok produksi yang lebih besar saat *start up*, dan semakin tinggi temperatur inlet evaporator maka biaya produksi akan semakin murah.



Grafik 4.4 temperatur inlet evaporator vs outlet evaporator untuk percobaan 1 pc celana jeans dalam beragam kecepatan fan.

Sama seperti percobaan 1 pc kemeja, karakteristik mesin pengering tidak berubah, dimana temperatur inlet evaporator pada speed 1 lebih tinggi daripada speed 2 dan speed 3. Akan tetapi waktu yang diperlukan untuk proses pengeringan lebih singkat pada speed 3.



Grafik 4.5 Hubungan Antara Temperatur Inlet Evaporator Dengan Volume Air Sisa Dan Biaya Pokok Produksi Untuk Percobaan 1 Pc Celana Jeans.

Grafik hubungan temperatur inlet evaporator di atas menunjukkan bahwa dengan tingginya temperatur inlet evaporator mempengaruhi biaya pokok produksi, dan juga bergantung pada kecepatan laju aliran udara pada ruang pengering. Pada percobaan beberapa ragam kecepatan fan, menunjukkan bahwa laju pengeringan lebih lama pada speed 1 akan tetapi memiliki inlet temperatur yang lebih tinggi dibandingkan dengan speed 3 yang memiliki laju pengeringan yang lebih cepat dan memiliki temperatur inlet yang lebih rendah.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan perhitungan dapat disimpulkan bahwa nilai laju ekstraksi air spesifik (SMER) untuk mesin pengering sistem pompa kalor memiliki hubungan yang linier dengan dengan temperatur inlet evaporator, dan juga linier terhadap waktu. Untuk nilai SMER pada percobaan 1 pc kemeja dan 1 pc celana jeans lebih rendah pada speed
2. *Spesific Energi Consumption* (SEC) berbanding terbalik dengan *Spesific Moisture Extraction Rate* (SMER). Untuk pengujian pengeringan kemeja memiliki rata-rata 22 kWh/kg dan pengeringan 1 pc celana jeans 41 kWh/kg.
3. Biaya yang dibutuhkan untuk proses pengeringan dengan menggunakan sistem pompa kalor berikut rata-rata Rp 46,625,- per kilogram air.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Mujumdar, Arun.S. Handbook of Industrial Drying, Third Edition, Taylor & Fracis Group LLC. Singapore, 2006.
- [2]. Cengel, A., Yunus, Boles, A., Michael, Thermodynamics An engineering Approach, Third Edition, WCB/ McGraw-Hill, United States of America, 1989.
- [3]. Mahlia, T.I. Clothes Drying from Room Air Conditioning Waste Heat, Mechanical Engineering University of Malaya. Kuala Lumpur, 2010.