



PAPER – OPEN ACCESS

Optimasi Pengering Pakaian Sistem Pompa Kalor dengan Penambahan Alat Penukar Kalor

Author : Dian Morfi Nasution
DOI : 10.32734/ee.v1i1.106
ISSN : 2654-7031
E-ISSN : 2654-704X

Volume 1 Issue 1 – 2018 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).

Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Optimasi Pengering Pakaian Sistem Pompa Kalor dengan Penambahan Alat Penukar Kalor

Dian Morfi Nasution^{a*}, Himsar Ambarita^b, Farel H. Napitupulu^b

^aFakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan 20155

^bPusat Riset Sustainable Energy, Universitas Sumatera Utara, Medan 20155

dianmorfinasution@gmail.com

Abstrak

Tingginya kesibukan masyarakat saat ini memacu banyaknya usaha laundry yang menawarkan jasa pencucian dan pengeringan pakaian dengan waktu yang singkat. Dalam hal ini sangat dibutuhkan sistem pengeringan pakaian yang efisien dari segi waktu dan energi serta tidak bergantung kepada cuaca. Penelitian ini bertujuan melakukan optimasi pengeringan pakaian sistem pompa kalor dengan menambahkan sebuah alat penukar kalor tipe plat datar untuk mendapatkan karakteristik pengeringan pakaian dan kinerja mesin pengering. Alat penukar kalor plat datar ditempatkan di antara ruang pengering dan evaporator. Pengeringan dilakukan terhadap 4 jenis bahan pakaian yang berbeda pada setiap variasi kecepatan udara. Diperoleh temperatur udara pada ruang pengering 48,24° C dengan kelembaban 24,6%. Laju pengeringan tertinggi diperoleh pada pengeringan 4 bahan pakaian secara bersamaan yaitu 0,3529 kg/jam yang menghasilkan nilai SMER sebesar 1,4537 kg/kWh dan SEC sebesar 0,6879 kWh/kg. Total prestasi pengering diperoleh 6,40 dengan efektivitas penukar kalor 62,24%. Semakin tinggi jumlah kadar air dengan waktu pengeringan yang singkat akan meningkatkan laju pengeringan. Laju pengeringan yang tinggi dengan konsumsi energi yang rendah akan menghasilkan nilai SMER yang tinggi dan menghasilkan nilai SEC yang rendah.

Kata kunci: Pengering pompa kalor; Pakaian; Alat penukar kalor;

1. Pendahuluan

Pengeringan pakaian secara umum dilakukan dengan cara menjemur langsung di bawah sinar matahari di luar ruangan atau dengan sirkulasi angin. Seiring dengan perkembangan teknologi, maka proses pengeringan pakaian tidak hanya dilakukan secara konvensional tetapi dengan mendesain mesin yang dapat menghasilkan panas sebagai pengganti sinar matahari. Mesin pengering pakaian yang terdapat di pasaran, terutama di kota Medan sumber pemanasnya beragam mulai dari uap panas (*steam*), gas elpiji, maupun listik (*heater*). Energi yang dikonsumsi ketiga model tersebut cenderung tinggi (energi yang dibutuhkan lebih besar daripada yang dimanfaatkan).

Pompa kalor merupakan salah satu sistem yang dapat dimanfaatkan sebagai pengering pakaian. Teknologi pompa kalor sebagai pengering berpotensi menghemat energi [7]. Pompa kalor untuk pengeringan pakaian atau *Heat Pump Clothes Dryers* (HPCDs) dapat menghemat energi sebesar 40–50% daripada pengering pakaian listrik konvensional [12]. Karakteristik penting dari sebuah pompa kalor adalah bahwa jumlah panas yang dapat ditransfer lebih besar daripada energi yang diperlukan untuk menggerakkan siklus. Perbandingan antara panas yang dihasilkan dan energi yang dibutuhkan dikenal dengan *Coefficient of performance* (COP).

Energi listrik yang digunakan untuk menggerakkan pompa kalor yang digunakan untuk memanaskan lingkungan untuk kondisi iklim sedang biasanya memiliki COP 3,5 pada kondisi desain, ini berarti bahwa 3,5 kWh panas yang dihasilkan untuk 1 kWh listrik yang digunakan untuk menggerakkan pompa kalor [4]. Suntivarakorn et al. [14] melakukan penelitian kajian pengering pakaian dengan menggunakan panas sisa dari AC dengan kapasitas 12.648 Btu/h. Luas ruang pengeringan 0,5x1,0m². Percobaan dilakukan dengan 2 metode yaitu pengeringan pakaian dengan dan tanpa kipas tambahan dan hasilnya adalah laju pengeringan 2,26 kg/jam dan 1,1 kg/jam. Mahlia et al. [11] melakukan kajian pengeringan pakaian dengan memanfaatkan panas sisa dari AC. Membandingkan efektivitas pengeringan sistem konvensional dan energi yang di konsumsi. Penggunaan panas sisa dari AC untuk pengering pakaian sangat handal terutama di daerah pemukiman padat gedung bertingkat dan tanpa biaya tambahan. Hasil penelitian menunjukkan laju aliran pengeringan antara 0,56 kg/jam sampai 0,75 kg/jam dan energi yang dikonsumsi untuk pengeringan pakaian adalah 0,81 kWh sampai 0,855 kWh per siklus. Deng Shiming dan Han Hua [6] melakukan penelitian pada pengering pakaian dengan menggunakan panas dari AC. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi pengeringan memanfaatkan panas AC sebesar 1,2 % daripada menggunakan pengering elektrik. Ahmadul Ameen dan Saiful Bari [1] melakukan penelitian pengeringan pakaian dengan memanfaatkan limbah panas kondensator dari sebuah AC split domestik yang banyak dijumpai di gedung-gedung apartemen. Ruang pengering dihubungkan pada unit kondensator agar limbah panas dapat mengalir ke sisi pakaian. Diperoleh laju pengeringan 0,424 kg/jam dibandingkan dengan 0,319 kg/jam dengan pengeringan komersial dan 0,139 kg/jam dengan pengeringan alami, sedangkan konsumsi energi yang dibutuhkan adalah 1,909 kWh/kg.

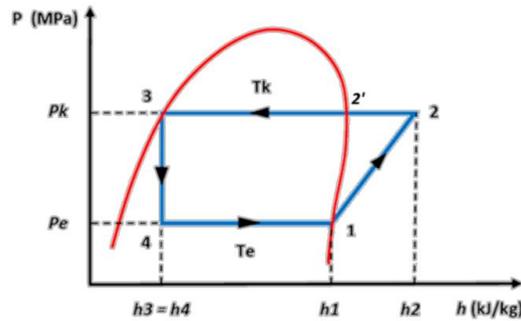
Grup Riset pengering pakaian pompa kalor, Indra Hermawan [8] telah melakukan penelitian kajian pengering pakaian sistem pompa kalor. Jenis bahan pakaian yang dikeringkan yaitu cotton100%, polyester 100%, cotton55%+polyester45%, dan cotton55%+nylon45%. Hasil penelitian diperoleh temperatur udara rata-rata ruang pengering 45,77° C dengan kelembaban udara rata-rata 28,22%, koefisien prestasi pompa kalor (COP_{HP}) 3,64 dan total prestasi pompa kalor (TP) 5,82. Nilai SMER (*specific moisture extraction rate*) dan SEC (*specific energy consumption*) untuk pengeringan 4 bahan pakaian secara bersamaan diperoleh masing-masing 0,8239–0,9701 kg/kWh dan 1,0308–1,2137 kWh/kg.

Terlihat bahwa pemanfaatan pompa kalor untuk proses pengeringan pakaian perlu terus dikembangkan, hal ini ditegaskan karena pompa kalor dapat menghemat konsumsi energi serta dapat digunakan setiap saat. Pada penelitian ini dilakukan optimasi pengeringan pakaian sistem pompa kalor dengan menambahkan sebuah alat penukar kalor tipe plat datar aliran silang (*air to air crossflow flat plate heat exchanger*). Dalam pemakaiannya pada mesin pengering, alat penukar kalor plat datar ini bertugas sebagai pemulihan energi (*energy recovery*). Energi tersebut berupa panas sensibel dan panas laten yang ditransfer dari aliran udara panas ke aliran udara dingin melalui celah-celah plat pada penukar kalor [3]. Tujuan penelitian ini untuk mendapatkan temperatur dan kelembaban udara pengeringan rata-rata di ruang pengering, mendapatkan kinerja pengering pompa kalor, menghitung nilai SMER dan SEC, mendapatkan efektivitas alat penukar kalor, dan mengetahui karakteristik pengeringan pakaian.

2. Metode dan Set-up Eksperimen

2.1. Prinsip Kerja

Pompa kalor (*heat pump*) merupakan perangkat yang sama dengan mesin pendingin (*Refrigerator*), perbedaannya hanya pada tujuan akhirnya. Mesin pendingin bertujuan menjaga ruangan pada suhu rendah dengan membuang panas dari ruangan. Sedangkan pompa kalor bertujuan menjaga ruangan berada pada suhu yang tinggi. Sama halnya dengan mesin pendingin, pompa kalor juga beroperasi menggunakan siklus kompresi uap (SKU) yang diilustrasikan melalui Diagram *p-h* pada Gambar 1. Komponen utamanya yaitu kompresor, kondensator, katup ekspansi, dan evaporator. SKU ideal terdiri dari 4 proses yaitu 1-2 disebut proses kompresi isentropis; 2-3 disebut proses kondensasi; 3-4 disebut proses ekspansi adiabatik; dan 4-1 disebut proses evaporasi isobarik.

Gambar. 1. Diagram p - h Siklus Kompresi Uap idea I[2]

Daya kompresor dalam satuan kJ/s dapat dihitung dengan Persamaan (1).

$$W_c = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_1) \quad (1)$$

Dimana \dot{m}_{ref} adalah laju aliran massa refrigeran (kg/s), h_2 dan h_1 masing-masing merupakan entalpi refrigeran saat masuk dan keluar kompresor dalam satuan kJ/kg. Jumlah kalor yang dilepas kondensor ke udara (kJ/s) dihitung dengan Persamaan (2) atau dengan Persamaan (3).

$$Q_k = \dot{m}_{ref} (h_2 - h_3) \quad (2)$$

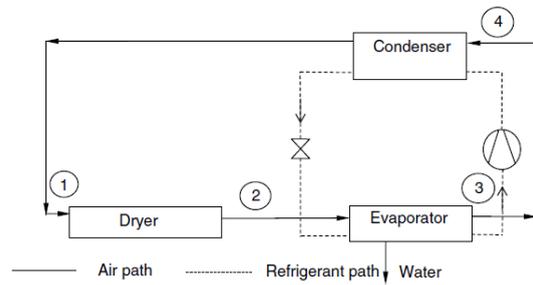
$$Q_k = \dot{m}_{air} C_{p,air} (T_{o,air} - T_{i,air}) \quad (3)$$

h_3 yaitu entalpi refrigeran saat keluar kondensor (kJ/kg), \dot{m}_{air} adalah laju aliran massa udara yang melewati kondensor (kg/s), $C_{p,air}$ merupakan kalor spesifik udara yang melewati kondensor (kJ/kg. $^{\circ}$ C), dan $T_{o,air}$, $T_{i,air}$ adalah temperatur udara saat masuk dan keluar kondensor. Jumlah kalor yang diserap evaporator (kJ/s) dihitung dengan Persamaan (4).

$$Q_e = \dot{m}_{ref} (h_1 - h_4) \quad (4)$$

Dimana h_4 merupakan entalpi refrigeran saat masuk evaporator (kJ/kg).

Pengering pompa kalor telah dikenal sebagai usaha efisiensi energi ketika digunakan pada proses pengeringan. Keuntungan utama dari pengering pompa kalor berasal dari kemampuan pompa kalor dalam menghasilkan energi berguna dari panas buangan serta kemampuan untuk mengontrol temperatur dan kelembaban udara pengeringan [5]. Gambar 2 mengilustrasikan sebuah diagram skematis dari komponen SKU yang terintegrasi dengan ruang pengering (*drying chamber*). Udara pengeringan bergerak masuk melewati ruang pengering pada titik 1 dan menyerap kadar air dari produk yang dikeringkan. Udara yang mengandung kadar air tinggi pada titik 2 kemudian diarahkan melewati koil evaporator. Selama proses dehumidifikasi (menurunkan kelembaban) dari titik 2 ke titik 3, udara pengering pertama kali didinginkan secara sensibel sampai pada titik embunnya (*dew point*). Proses pendinginan akan menghasilkan kondensasi uap air yang terkandung di udara pengering. Kalor laten penguapan kadar air kemudian diserap oleh evaporator untuk mendidihkan refrigeran.



Gambar. 2. Skematis diagram sistem pengering pompa kalor

Kalor yang dipulihkan (*recovery*) akan dipompa ke kondensor. Udara yang telah didinginkan dan diturunkan kelembabannya selanjutnya akan menyerap kalor yang dilepas kondensor yang bergerak dari titik 4 ke titik 1 sebagai pemanasan sensibel untuk menaikkan temperatur udara pengering [10]. Indikator kinerja pengering adalah *specific moisture extraction rate* (SMER) yang berarti perbandingan jumlah air yang dapat diuapkan dari pakaian \dot{m}_d dengan energi listrik yang digunakan tiap jam, atau dengan kata lain energi yang dibutuhkan untuk menguapkan 1 kg air dalam satuan kg/kWh [14]. Perhitungan SMER menggunakan Persamaan (6).

$$SMER = \frac{\dot{m}_d}{W_{in}} \quad (5)$$

Parameter kinerja yang lain dikenal sebagai *specific energy consumption* (SEC) yang merupakan kebalikan dari SMER. Parameter SEC (kWh/kg) dihitung dengan Persamaan (6).

$$SEC = \frac{1}{SMER} \quad (6)$$

Sedangkan laju pengeringan (*drying rate*), dihitung menggunakan Persamaan (7).

$$\dot{m}_d = \frac{m_b - m_k}{t} \quad (7)$$

Dimana \dot{m}_d adalah laju pengeringan (kg/jam), m_b dan m_k merupakan massa pakaian basah dan kering (kg), dan t adalah waktu pengeringan (jam). Kinerja pengering pompa kalor dinyatakan dalam Total prestasi (TP), yang dihitung dengan Persamaan (8)

$$TP = \frac{Q_k + Q_e + Q_t}{W_c + W_f} \quad (8)$$

Dimana Q_t merupakan kalor total yang dihasilkan alat penukar kalor (kJ/s) dan W_f adalah daya kipas yang dipakai pada pengering dalam satuan kJ/s. Kalor total alat penukar kalor (APK) adalah penjumlahan kalor sensibel dengan kalor laten yang dihitung dengan Persamaan (9).

$$Q_t = Q_s + Q_L = [\dot{m}_h C_{p,h}(T_{h,i} - T_{h,o})] + [\dot{m} \times h_{fg} \times (w_{in} - (w_{out}))] \quad (9)$$

Dimana h menyatakan udara panas (*hot*), \dot{m} merupakan laju aliran massa udara dalam kg/s, C_p merupakan kalor spesifik udara (kJ/kg.^o C), T adalah temperatur udara masuk dan keluar alat penukar kalor, h_{fg} adalah entalpi kalor penguapan (kJ/kg) dan w adalah rasio humiditas udara pada temperatur dan kelembaban relatifnya [9]. Efektivitas alat penukar kalor didefinisikan dengan Persamaan (10).

$$\varepsilon = \frac{Q_t}{Q_{t, maks}} = \frac{[\dot{m}_h C_{p,h}(T_{h,i} - T_{h,o})] + [\dot{m} \times h_{fg} \times (w_{in} - (w_{out}))]}{[C_{min}(T_{h,in} - T_{c,in})] + [\dot{m}_{min} h_{fg} \times (w_{h,in} - (w_{h,out}))]} \quad (10)$$

Dimana c menyatakan *cold*, C_{min} merupakan kapasitas kalor minimum dari $C_h = \dot{m}_h \times C_{ph}$ dan $C_c = \dot{m}_c \times C_{pc}$. Sedangkan \dot{m}_{min} adalah laju aliran massa fluida minimum antara \dot{m}_c dan \dot{m}_h .

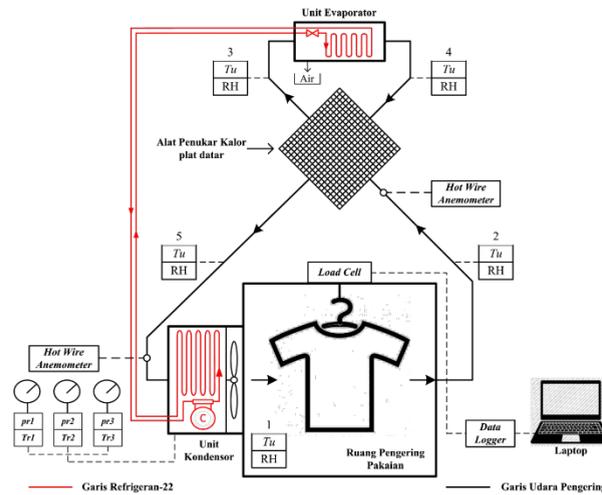
2.2. Set-up Eksperimen

Dalam pelaksanaan eksperimen, telah didesain dan dipabrikasi sebuah mesin pengering pakaian sistem pompa kalor skala laboratorium berukuran 3000 × 1000 × 1800 (mm). Komponen-komponen utamanya yaitu kompresor, kondensor, katup ekspansi, evaporator, kipas angin, APK, dan ruang pengering. Pompa kalor yang diinstal pada mesin pengering adalah modifikasi dari sebuah AC tipe *split* dengan konsumsi daya sebesar 0,8 kW dan jenis fluida kerja yaitu Refrigerant 22. Kipas angin yang digunakan memiliki 3 tingkat kecepatan udara yaitu *low*, *medium*, dan *high* dengan daya 0,075 kW. Alat penukar kalor tipe plat datar berukuran 400 × 400 × 400 (mm) menggunakan material plat seng dengan ketebalan 0,35 mm, jarak antar plat datar 4 mm, dan jumlah celah 92.

Sistem akuisisi data diinstal pada setup eksperimen sebagai alat pengukuran. Temperatur dan kelembaban udara pengeringan diukur menggunakan *Portable Thermohyrometer* dengan akurasi 1,0^o C dan 5%RH. Pengukuran temperatur dan kelembaban udara berjumlah 5 titik yaitu ruang pengering, masuk alat penukar kalor, masuk evaporator (keluar apk), keluar evaporator (udara masuk kembali ke apk), dan keluar alat penukar kalor (masuk kondensor). Pengukuran kecepatan udara pengeringan dilakukan pada saat udara melewati kondensor dan masuk APK dengan menempatkan *Anemometer* tipe *hot wire* dengan akurasi 0,1 m/s. Untuk mengukur massa pakaian yang dikeringkan digunakan *Load cell* tipe S dengan akurasi 1,0 gram yang ditempatkan pada sisi luar ruang pengering dan pengukuran kondisi kerja Refrigeran22 menggunakan *pressure gauge* pada 3 titik pengukuran yaitu sisi isap kompresor, sisi tekan kompresor, dan sisi keluar kondensor. Gambar 3 menunjukkan diagram skematis dan sistem akuisisi data pengukuran dari setup eksperimen.

2.3. Metode Pengembangan

Pakaian yang dikeringkan berjumlah 4 (2 kaus dan 2 kemeja) dengan jenis bahan yaitu Cotton100%, Polyester100%, Cotton55% +Polyester45%, dan Cotton55% +Nylon45%. Pengeringan dilakukan sebanyak 5 tahap, setiap tahap dilakukan 3 kali pengeringan pada setiap variasi kecepatan udara (*low*, *medium*, *high*). Tahap 1 sampai 4 adalah pengeringan untuk satu per satu jenis bahan pakaian dan tahap 5 merupakan pengeringan semua jenis bahan pakaian secara bersamaan. Setiap pakaian diukur massanya pada kondisi kering dan basah. Untuk menyesuaikan agar massa pakaian basah dapat seragam untuk ketiga variasi kecepatan udara, terlebih dahulu dilakukan pemerasan (*spin*) selama 3 menit menggunakan mesin cuci. Sistem akuisisi data diatur untuk merekam pengukuran setiap 1 menit waktu pengeringan, sedangkan tekanan dan temperatur kerja Refrigerant 22 diamati secara visual setiap 2 menit waktu pengeringan. Pengeringan dianggap selesai jika massa pakaian telah menunjukkan nilai massa pada kondisi kering.



Gambar. 3. Diagram skematis dan sistem akuisisi data pengukuran

3. Hasil dan Diskusi

Seperti yang telah diuraikan sebelumnya, ada 5 tahap pengeringan dan setiap tahap diuji sebanyak 3 kali. Maka total pengeringan yang telah dikerjakan berjumlah 15. Eksperimen ini telah dilaksanakan pada bulan Desember 2015 hingga bulan April 2016 di Pusat Riset Sustainable Energy, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, USU.

Tabel 1 memperlihatkan hasil pengukuran massa pakaian. Waktu pengeringan terendah diperoleh pada pengeringan dengan tingkat kecepatan udara medium (0,0409 m/s) untuk kelima tahap pengeringan. Pada pembahasan ini hanya dipaparkan hasil pengeringan dengan kecepatan udara tingkat medium karena dianggap paling optimal. Temperatur dan kelembapan udara di ruang pengering, kinerja mesin pengering, laju pengeringan, SMER, SEC, dan efektivitas penukar kalor untuk kelima tahap pengeringan diringkas pada Tabel 2. Diperoleh temperatur udara rata-rata pada ruang pengering 48,24^o C dengan kelembapan udara 24,6%.

Tabel. 1. Pengukuran massa pakaian

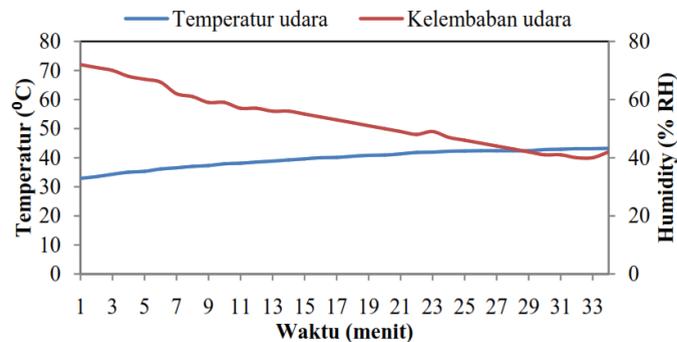
No.	Jenis Bahan pakaian	Massa basah (gram)	Massa kering (gram)	Kadar air (gram)	Waktu pengeringan (menit)		
					Kec. low (0,232 m/s)	Kec. med (0,409 m/s)	Kec. high (0,639 m/s)
1	Cotton 100%	300	220	80	27	22	23
2	Polyester 100%	245	185	60	20	16	16
3	Cotton 55% + Polyester 45%	290	223	67	22	19	20
4	Cotton 55% + Nylon 45%	320	230	90	29	24	26
5	4 bahan bersamaan	1060	860	200	44	34	36

Tabel. 2. Kinerja Mesin Pengering Pakaian

Jenis Bahan pakaian	Kondisi Ruang pengering		\dot{m}_d (kg/jam)	SMER (kg/kWh)	SEC (kWh/kg)	Total Prestasi	Efektivitas APK
	°C	%RH					
Cotton100%	49,9	20	0,2182	0,7007	1,4272	6,29	59,06
Polyester100%	49,5	17	0,2250	0,7211	1,3867	6,47	77,64
Cotton55% + Polyester45%	49,7	26	0,2116	0,5705	1,7530	6,53	60,15
Cotton55% + Nylon45%	48,9	20	0,2250	0,6608	1,5133	6,91	60,11
4 bahan bersamaan	43,2	40	0,3529	1,4537	0,6879	5,81	54,22
Rata-rata	48,24	24,6	-	-	-	6,40	62,24

Berdasarkan Tabel 2, laju pengeringan tertinggi diperoleh pada pengeringan 4 bahan secara bersamaan yaitu 0,3529 kg/jam. Sehingga nilai SMER yang dihasilkan juga lebih tinggi dibandingkan dengan pengeringan pakaian satu per satu. Nilai SMER yang tinggi akan menurunkan konsumsi energi yang dibutuhkan untuk pengeringan. Pada pengeringan 4 bahan secara bersamaan nilai SEC diperoleh 0,6879 kWh/kg, yang berarti bahwa jumlah energi yang dikonsumsi untuk menguapkan 1 kg air dari bahan pakaian adalah 0,6879 kWh.

Karakteristik kondisi udara di ruang pengering pada pengeringan 4 bahan bersamaan dengan kecepatan udara medium diperlihatkan pada Gambar 4. Temperatur udara akan mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya waktu pengeringan. Sedangkan kelembaban udara mengalami penurunan hingga ke kondisi yang cukup kering. Hal inilah yang mendukung pakaian lebih cepat kering karena menghasilkan laju pengeringan yang tinggi.



Gambar. 4. Karakteristik temperatur dan RH di ruang pengering pada pengeringan 4 bahan bersamaan dengan kecepatan udara 0,409 m/s

Kinerja utama dari mesin pengering sistem pompa kalor adalah Total prestasi (TP). Nilai total prestasi (TP) adalah 6,40 yang berarti bahwa setiap 1 kWh energi listrik yang dibutuhkan mesin pengering dapat menghasilkan 6,40 kWh energi untuk memanaskan, memulihkan, dan mendinginkan udara pengering. Kemampuan alat penukar kalor dalam mengoptimalkan kerja mesin pengering dinyatakan sebagai Efektivitas. Nilai efektivitas alat penukar kalor rata-rata diperoleh 62,24%. Dengan mengamati Gambar 3, hal ini berarti bahwa energi panas udara yang keluar dari ruang pengering (poin 2) dapat ditransfer ke udara sebelum masuk ke kondensator (poin 5).

Dilakukan perhitungan nilai head pada system apabila tidak terdapat padatan pada fluida. Hasil perhitungan diperlihatkan pada Tabel 2.

4. Kesimpulan

Laju pengeringan pakaian dipengaruhi oleh jumlah kadar air pada pakaian terhadap waktu pengeringan. Semakin tinggi jumlah kadar air dengan waktu pengeringan yang semakin singkat akan meningkatkan laju pengeringan. Laju pengeringan yang tinggi dengan konsumsi energi yang semakin rendah akan menghasilkan nilai SMER yang tinggi dan tentunya menghasilkan nilai SEC yang rendah. Peningkatan temperatur udara selama proses pengeringan menunjukkan tingkat perpindahan panas yang semakin tinggi. Sedangkan penurunan kelembaban udara menunjukkan perbedaan konsentrasi uap air di udara pengering (perpindahan massa), semakin rendah kelembaban udara pengering maka semakin tinggi peluang uap air berpindah dari pakaian ke udara pengering. Begitu pula dengan kecepatan udara pengeringan, jika semakin rendah kecepatan udara akan memperlambat waktu pengeringan yang dapat menurunkan laju pengeringan. Dari hasil penelitian dapat dilihat bahwa kecepatan udara pada level *medium* menghasilkan laju pengeringan dan nilai SMER yang tinggi. Akan tetapi, jika kecepatan udara pengering ditingkatkan pada level *high* akan menurunkan laju pengeringan sehingga nilai SMER menjadi turun.

Referensi

- [1] Ameen, A., Bari, S., 2003. Investigation into the effectiveness of heat pump assisted clothes dryer for humid tropics. *Energy Conversion and Management* 45, 1397–1405.
- [2] Ambarita, H., 2012. Buku Kuliah–Teknik Pendingin dan Pengkondisian Udara. Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, USU, Medan.
- [3] ASHRAE., 2008. Air to Air Energy Recovery. Chapter 25. HVAC Systems and Equipment (SI), 25.125.23.
- [4] Brown, R., 2009. Heat Pumps - A guidance document for designers. BSRIA.
- [5] Colak, N., Hepbasli, A., 2009. A review of heat-pump drying (HPD): Part 1-Systems, models, and studies. *Energy Conversion and Management* 50. 2180-2186.
- [6] Deng, S., Han, H., 2004. An experimental study on clothes drying using rejected heat (CDURH) with split-type residential air conditioners. *Applied Thermal Engineering* 24, 2789-2800.
- [7] Denkenberger, Dave., Calwell, C., Beck, N., Trimboli, B., Driscoll, D., 2013. Analysis of Potential Energy Savings from Heat Pump Clothes Dryers in North America. CLASP (by Ecova).
- [8] Hermawan, I., 2014. Kajian Pengering Pakaian Sistem Pompa Kalor. Tesis, Program Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, USU, Medan.
- [9] Incropera., DeWitt., Bergman., Lavine., 2006. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Sixth Edition, John Wiley & Sons, New York.
- [10] Kiang C. S., Jon C. K., 2006. Heat Pump Drying Systems, Handbook of Industrial Drying. Third Edition. Taylor & Francis Group, LLC, pp. 1104-1130.
- [11] Mahlia, T.M.I., Hor, C.G., Masjuki, H.H., Husmawan, M., Varman, M., Mekhilef, S., 2010. Clothes Drying From Room Air Conditioning Waste Heat: Thermodynamics Investigation. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, Volume 35, Number 1B, 339-351.
- [12] Meyers, S., Franco, V.H., Lekov, A.B., Thompson, L., Sturges, A., 2010. Do Heat Pump Clothes Dyers Make Sense for the U.S. Market?. Lawrence Berkeley National Laboratory. California.
- [13] Mujumdar, A.S., 2006. Handbook of Industrial Drying. Third Edition. CRC Press. 1104-1107.
- [14] Suntivarakorn, P., Satmarong, S., Benjapiyaporn, C., Theerakulpisut, S., 2009. An Experimental study on Clothes Drying Using Waste Heat from Split Type Air Conditioner. *World Academy of Science, Engineering and Technology* 29, 168-173.