

KARAKTERISTIK MESIN PENYEJUK UDARA SEBAGAI PENGGANTI AIR COOLER

Doddy Purwadianto^{1*}, Petrus Kanisius Purwadi²

^{1,2}Teknik Mesin Fakultas Sains dan Teknologi

Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta

*e-mail : purwadodi@gmail.com, pkpurwadi1966@gmail.com

ABSTRAK

Makalah ini membahas tentang mesin penyejuk yang bekerja dengan siklus kompresi uap. Peralatan ini dapat digunakan sebagai pengganti air-cooler, air-cooler yang bekerja dengan evaporative cooling. Refrigeran yang digunakan adalah R134a. Komponen utama dari siklus kompresi uap terdiri dari: kompresor, evaporator, kondensor, dan tabung kapiler. Total daya listrik penyejuk udara 148 watt. Bila suhu udara masuk 30°C dengan RH 70% dan laju aliran udara masuk 2,13 m/s, maka penyejuk udara ini dapat menghasilkan udara dengan suhu 25,2 °C dan RH 93%. COP penyejuk udara ini adalah 2,47. Penelitian dapat dikembangkan dengan menurunkan temperatur kerja evaporator atau temperatur kerja kondensor

ABSTRACT

This paper discusses an air cooler that works with a steam compression cycle. This equipment can be used as a replacement for an air-cooler, an air-cooler that works with evaporative cooling. The refrigerant used is R134a. The main components of the vapor compression cycle consist of: compressor, evaporator, condenser, and capillary tube. The total electric power of the air cooler is 148 watt. If the intake air temperature is 30°C with RH 70% and the intake air flow rate is 2.13 m/s, then this air cooler can produce air with a temperature of 25.2 °C and RH 93%. The COP of this air cooler is 2.47. Research can be developed by lowering the working temperature of the evaporator or the working temperature of the condenser.

Keywords: pendingin udara; siklus kompresi uap; COP.

I. Pendahuluan

Kebutuhan mesin penyejuk udara pada saat ini semakin meningkat. Salah satu sebabnya adalah sebagian masyarakat ekonomi kelas menengah ke bawah juga ingin menikmati sejuknya udara di dalam rumahnya. Kondisi ini menyebabkan industri bergerak melakukan inovasi-inovasi terhadap mesin penyejuk udara dengan daya listrik rendah.

Dulu mesin penyejuk udara *air conditioner* (AC) sangat mendominasi pasaran mesin penyejuk udara. Tetapi pada saat ini, ketika ada mesin penyejuk udara lain, sebagian masyarakat beralih ke penggunaan *air cooler*. Besarnya daya listrik yang dipergunakan mesin penyejuk sepertinya menjadi penyebabnya. Daya listrik yang dibutuhkan mesin AC masih dirasa cukup besar. Daya listrik AC paling rendah, bila dibandingkan dengan *air cooler*, masih lebih tinggi dibandingkan dengan daya listrik yang diperlukan *air cooler*. Daya listrik AC terendah sekitar 0,5 HP atau sekitar 373 watt. Besarnya daya listrik ini belum termasuk daya yang diperlukan untuk menggerakkan kipas evaporator dan kipas kondensor.

Kebutuhan daya listrik *air cooler* jauh lebih rendah. Bahkan ada *air cooler* yang dapat bekerja dengan daya listrik kurang dari 100 watt. Daya listrik *air cooler* hanya diperlukan untuk menggerakkan pompa air dan kipas angin saja. Tidak untuk menggerakkan kompresor dari dan kipas kipas yang ada pada mesin siklus kompresi uap seperti halnya AC.

Salah satu kekurangan *air cooler* adalah lebih ribet di dalam penggunaannya. *Air cooler* bekerja dengan menggunakan metode *evaporative cooling*, sehingga diperlukan fluida kerja air. Ketika *air cooler* bekerja, air berkurang dengan berjalannya waktu, dan air akan habis. Air yang dipergunakan menguap dan keluar bersama dengan aliran udara yang dipergunakan sebagai media penyejuk. Secara periodik, *air cooler* harus selalu diisi secara berulang-ulang dengan air. Setidak tidaknya setiap hari harus menambah airnya, bila setiap hari dipergunakan. Dengan demikian *air cooler* tidak cocok apabila dipergunakan di daerah yang pada saat musim kemarau mengalami kekurangan air. Kelemahan *air cooler* yang lain adalah, penurunan suhu udara yang tidak terlalu

besar dibandingkan dengan mesin penyejuk AC. *Air cooler* hanya cocok dipergunakan pada daerah yang memiliki kondisi udara yang bersuhu tinggi dan kering. Bila *air cooler* dipergunakan di daerah yang memiliki suhu sekitar 28-30°C, dengan kelembapan udara sekitar 70%, maka penurunan suhu maksimum yang dapat dicapai 4,4-4,6°C.

Berangkat dari persoalan di atas, perlu dilakukan inovasi baru terhadap mesin penyejuk udara yang dapat memperbaiki dan sebagai alternative pengganti *air cooler*. Mesin penyejuk udara yang lebih praktis dari *air cooler*. Mesin penyejuk udara yang bersifat lokal dengan daya listrik yang rendah. Sama seperti *air cooler*, penggunaannya ditujukan untuk satu atau dua orang pengguna saja dan tidak difungsikan untuk mengkondisikan udara untuk seluruh ruangan. Penulis tertarik untuk melakukan inovasi baru itu dengan melakukan penelitian terhadap penyejuk udara yang bekerjanya menggunakan mesin siklus kompresi uap.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui (a) pengaruh kecepatan aliran udara terhadap kondisi udara keluar dari mesin penyejuk udara (b) pengaruh kondisi udara masuk terhadap kondisi udara keluar dari mesin penyejuk udara dan (c) karakteristik mesin penyejuk udara. Mesin bekerja mempergunakan siklus kompresi uap.

II. Dasar Teori

Komponen utama mesin siklus kompresi uap meliputi: kompresor, kondensor, pipa kapiler dan evaporator, dengan fluida kerja refrigeran. Komponen tambahan pada mesin siklus kompresi uap adalah filter dan kipas. Kipas evaporator dipergunakan untuk mengalirkan udara melewati evaporator dan kipas kondensor dipergunakan untuk mengalirkan udara melewati kondensor. Siklus kompresi uap tersusun atas beberapa proses utama: (a) proses evaporasi refrigeran yang berlangsung di evaporator, (b) proses kompresi refrigeran yang berlangsung di kompresor, (c) proses kondensasi refrigeran yang berlangsung di kondensor dan (d) proses penurunan tekanan refrigeran yang berlangsung di pipa kapiler. Rangkaian komponen utama mesin siklus kompresi uap secara skematik tersaji pada Gambar 1. Siklus kompresi uap bila digambarkan pada diagram p-h, seperti tersaji pada Gambar 2. Beberapa peneliti lain telah mempergunakan siklus kompresi uap ini di dalam penelitiannya.^{1-10.}

Besarnya kalor yang diserap evaporator persatuan massa-refrigeran (Q_{in}) dapat dihitung dengan mempergunakan Persamaan (1):

$$Q_{in} = h_1 - h_4 \tag{1}$$

Besarnya kerja yang dilakukan kompresor persatuan massa-refrigeran (W_{in}) dapat dihitung dengan Persamaan (2):

$$W_{in} = h_2 - h_1 \tag{2}$$

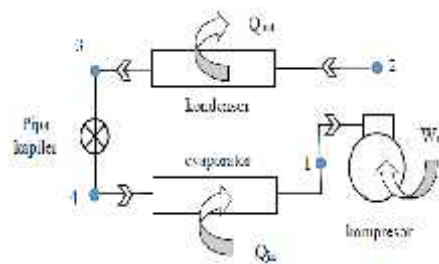
Besarnya kalor yang dilepas kondensor persatuan massa-refrigeran (Q_{out}) dapat dihitung dengan Persamaan (3):

$$Q_{out} = h_2 - h_3 \tag{3}$$

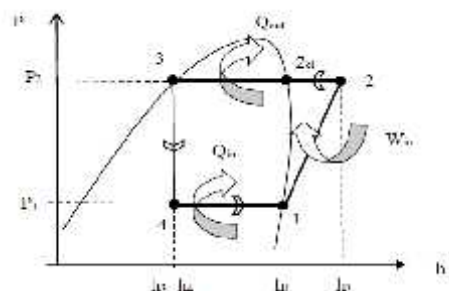
Besarnya kinerja mesin siklus kompresi uap (COP) dapat dihitung dengan Persamaan (4):

$$COP = Q_{in} / W_{in} \tag{4}$$

Pada Persamaan (1), (2), (3), nilai entalpi refrigeran h_1 , h_2 , h_3 , dan h_4 , berturut turut adalah entalpi refrigeran masuk kompresor, entalpi refrigeran keluar kompresor, entalpi refrigeran masuk pipa kapiler dan entalpi refrigeran masuk evaporator. Pada proses penurunan tekanan, proses berlangsung pada entalpi yang tetap (isentropi), sehingga $h_3 = h_4$. Daya listrik total yang diperlukan mesin penyejuk adalah daya kompresor ditambah dengan daya kipas.



Gambar 1. Rangkaian komponen utama siklus kompresi uap



Gambar 2. Siklus kompresi uap pada diagram P-h

Untuk mendapatkan udara yang sejuk, mesin penyejuk udara siklus kompresi uap ini, bekerja dengan menggunakan prinsip *cooling*. Proses *cooling* atau proses pendinginan udara adalah proses penurunan suhu udara yang dilakukan pada kelembapan spesifik udara yang tetap dan pada suhu titik embun yang tidak berubah. Pada proses pendinginan udara ini terjadi penurunan suhu udara bola kering (T_{db}), penurunan suhu udara bola basah (T_{wb}), penurunan volume spesifik, dan penurunan enthalpi. Pada proses pendinginan ini juga terjadi kenaikan nilai kelembapan relative (RH).

Berbeda dengan mesin AC, mesin penyejuk udara ini tidak menghasilkan udara kering, karena pada proses pendinginan udara ini tidak disertai proses pengembunan air di evaporator. Hasil penyejukan udara dari mesin jenis ini juga tidak menjadikan kandungan air di dalam udara meningkat, seperti halnya mesin penyejuk udara jenis *air cooler*. Hal ini disebabkan karena proses yang terjadi tidak merupakan proses *evaporative cooling*.

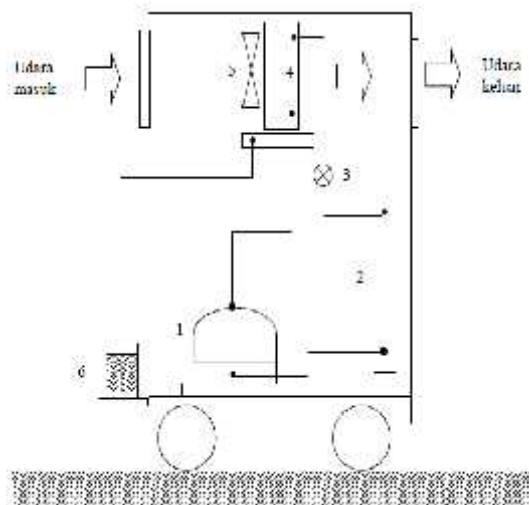
Mesin penyejuk udara siklus kompresi uap, dapat dipergunakan di ruang terbuka. Hal ini berbeda dengan mesin AC yang dipergunakan untuk ruang yang tertutup. Fungsi dari mesin ini bukan untuk mengkondisikan seluruh udara di dalam ruangan, tetapi mesin ini berfungsi untuk menyejukan udara yang kemudian langsung dipergunakan kepada penggunaannya, seperti halnya fungsi *air cooler*. Dengan demikian pemakai tidak disulitkan akan kebutuhan oksigen untuk kebutuhan pernapasannya. Dibandingkan dengan *air cooler*, mesin ini lebih praktis. Tidak merepotkan, karena pengguna tidak harus mengisi air ketika airnya habis. Hanya saja daya listriknya sedikit lebih besar dibandingkan dengan *air cooler*. Tetapi bila dibandingkan dengan mesin AC, kebutuhan daya listriknya lebih rendah.

III. Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimen. Objek penelitiannya adalah mesin penyejuk udara siklus kompresi uap. Daya total mesin penyejuk sebesar 148 watt. Gambar 3 menyajikan skematik penyejuk udara yang diuji, dengan komponen komponen utamanya.

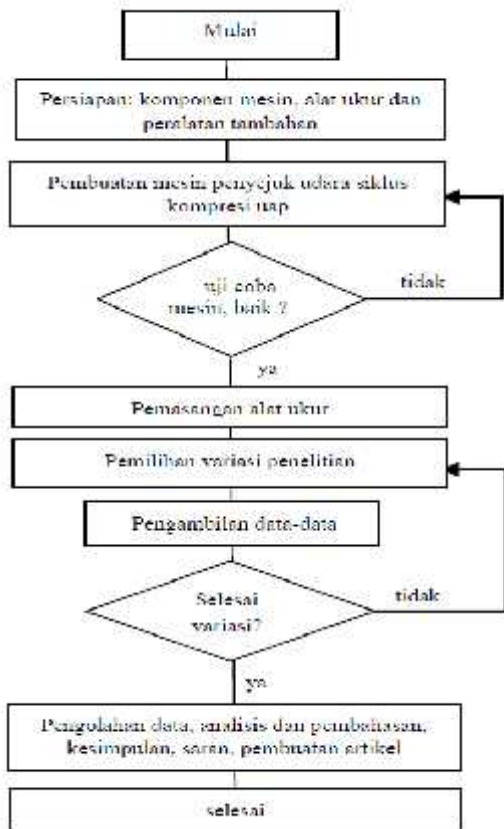
Daya kompresor yang dipergunakan sebesar 1/6 HP, ukuran komponen utama yang lain (evaporator, kondensor, dan pipa kapiler ukurannya dan besarnya menyesuaikan dengan

besarnya daya kompresor. Refrigeran yang dipergunakan adalah R134a. Alur penelitian mengikuti diagram alir penelitian seperti tersaji pada Gambar 4. Penelitian dilakukan, dengan memvariasikan (a) kecepatan aliran udara (V) yang masuk mesin penyejuk udara (b) kondisi udara masuk mesin penyejuk udara. Variasi kecepatan aliran V yang dipilih: 2,13 m/detik, 2,62 m/detik, 3,4 m/detik, dan 4,85 m/detik. Suhu udara kering (T_{db}) dan kelembapan relative (RH) yang dipilih (a) T_{db} : 30°C, RH 70% (b) T_{db} : 29°C, RH 70% (c) T_{db} :28°C, RH 70% (d) T_{db} : 30°C, RH 50%. Luas penampang aliran berbentuk persegi empat dengan ukuran 12 cm x 20 cm.



- | | | | |
|---|--------------|---|---------------|
| 1 | Kompresor | 4 | Evaporator |
| 2 | Kondensor | 5 | Kipas |
| 3 | Pipa Kapiler | 6 | Penampung air |

Gambar 3 Skematik penyejuk udara Siklus kompresi uap



Gambar 4. Diagram alir penelitian

IV. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pada penelitian ini, udara luar yang masuk ke dalam mesin pendingin, hanya dilewatkan melalui evaporator dari mesin siklus kompresi uap, dan kemudian udara yang telah didinginkan dikeluarkan untuk menyejukan si pengguna. Bilamana kelembapan relative udara yang dihasilkan tidak sampai 100%, maka proses yang terjadi pada udara hanyalah proses *cooling* atau pendinginan udara yang berjalan pada kelembapan spesifik yang tetap. Dengan kata lain tidak terjadi perubahan kadar air dalam udara. Tidak ada perpindahan massa baik dari udara maupun ke dalam udara. Tidak terjadi proses pengembunan uap air ataupun tidak terjadi penambahan air di udara. Tetapi bilamana kelembapan relative dari udara mencapai RH 100%, dengan suhu udara bola kering (T_{db}) yang dicapai lebih rendah dari suhu embun uap air dalam udara ($T_{db} < T_{dp}$) maka dapat dipastikan pada proses tersebut disertai dengan pengembunan. Pada penelitian ini, kondisi udara setelah mengalami proses *cooling* atau pendinginan tidak ada yang mencapai kelembapan udara 100%, ini berarti bahwa proses pendinginan tidak disertai dengan proses pengembunan. Hasil penelitian disajikan pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 1. Kondisi udara keluar dengan kondisi udara masuk 30°C, RH 70%.

No	V	ṁ	Udara masuk		Udara keluar		Beda suhu ΔT _{db}
			T _{db}	RH	T _{db}	RH	
			°C	%	°C	%	
1	2,13	0,0580	30	70	25,2	93,0	4,8
2	2,62	0,0713	30	70	26,2	87,0	3,8
3	3,40	0,0927	30	70	27,2	82,5	2,8
4	4,85	0,1323	30	70	28,1	77,3	1,9

Tabel 2. Kondisi udara keluar dengan kondisi udara masuk 29°C, RH 70%.

No	V	ṁ	Udara masuk		Udara keluar		Beda suhu ΔT _{db}
			T _{db}	RH	T _{db}	RH	
			°C	%	°C	%	
1	2,13	0,0580	29	70	24	94,0	5
2	2,62	0,0713	29	70	25	88,8	4
3	3,40	0,0927	29	70	26	83,7	3
4	4,85	0,1323	29	70	27	78,5	2

Tabel 3. Kondisi udara keluar dengan kondisi udara masuk 28°C, RH 70%.

No	V	ṁ	Udara masuk		Udara keluar		Beda suhu ΔT _{db}
			T _{db}	RH	T _{db}	RH	
			°C	%	°C	%	
1	2,13	0,0580	28	70	23,7	90	4,3
2	2,62	0,0713	28	70	24,6	86	3,4
3	3,40	0,0927	28	70	25,7	80	2,3
4	4,85	0,1323	28	70	26,6	76	1,4

Tabel 4. Kondisi udara keluar dengan kondisi udara masuk 30°C, RH 50%.

No	V	ṁ	Udara masuk		Udara keluar		Beda suhu ΔT _{db}
			T _{db}	RH	T _{db}	RH	
			°C	%	°C	%	
1	2,13	0,0580	30	50	24,0	71	6,0
2	2,62	0,0713	30	50	25,6	65	4,4
3	3,40	0,0927	30	50	26,7	60	3,3
4	4,85	0,1323	30	50	27,6	57	2,4

Dari Tabel 1, Tabel 2 dan Tabel 3 dapat diketahui bahwa kondisi udara yang dihasilkan mesin pendingin bergantung pada kecepatan aliran udara yang masuk melewati evaporator. Besarnya kecepatan aliran udara ini bergantung pada kipas evaporator yang dipergunakan. Semakin rendah kecepatan aliran udara, semakin rendah pula suhu udara yang dihasilkan evaporator. Hal ini disebabkan karena besarnya energi kalor yang dihisap evaporator persatuan waktu besarnya sama. Ketika kecepatan aliran udara lambat, maka volume udara yang didinginkan oleh evaporator menjadi lebih

sedikit dibandingkan ketika kecepatan udara bergerak cepat. Dari data data pada tabel tersebut dapat diketahui pula bahwa untuk kelembapan relative RH yang sama, semakin rendah suhu udara bola kering yang masuk, semakin rendah pula suhu yang dihasilkan. Sama seperti halnya kecepatan aliran udara yang masuk, hal ini disebabkan karena besarnya energi kalor yang dihisap evaporator persatuan waktu besarnya sama.

Dari Tabel 1 dan Tabel 4, dapat diketahui bahwa kelembapan relative udara masuk berpengaruh terhadap kondisi udara yang dihasilkan mesin penyejuk udara siklus kompresi uap. Untuk suhu yang sama, semakin rendah kelembapan relatif udara yang masuk, semakin rendah pula suhu udara yang dihasilkan mesin penyejuk udara siklus kompresi uap. Untuk udara masuk dengan suhu 30°C dengan RH 70%, mesin penyejuk udara siklus kompresi uap hanya mampu menurunkan suhu sebesar 4,8°C pada kecepatan aliran udara 2,13 m/det. Sedangkan bila kondisi udara masuk memiliki suhu 30°C dengan RH 50%, mesin penyejuk udara mampu menurunkan suhu sebesar 6°C. Untuk kelembapan-relative udara yang lebih rendah, suhu udara yang dihasilkan menjadi lebih rendah. Hal ini disebabkan karena kalor yang dipergunakan untuk menurunkan suhu uap air menjadi lebih sedikit, karena kandungan uap air yang ada di udara lebih sedikit dan kalor yang dipergunakan untuk menurunkan suhu udara menjadi lebih besar. Dengan demikian mesin penyejuk udara siklus kompresi uap baik untuk dipergunakan untuk udara masuk dengan kelembapan relative yang rendah

Karakteristik mesin pendingin selama proses pendinginan udara diasumsikan tetap. Karakteristik mesin yang dipergunakan pada penelitian ini memiliki karakteristik seperti tersaji pada Tabel 5. Dengan temperatur kerja evaporator -18°C, dan temperatur kerja kondensor 50°C. Proses *subcooling* dan *superheating* diabaikan. Daya mesin siklus kompresi uap sekitar 1/6 HP atau sekitar 123 watt. Mesin penyejuk udara ini mempergunakan kipas dengan daya 25 watt, sehingga daya total mesin penyejuk udara siklus kompresi uap sebesar 148 watt.

Tabel 5. Karakteristik penyejuk udara siklus kompresi uap.

No	Temperatur	Kelembapan	Q ₁	Q ₂	W ₁	COP
	(°C)	(%)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	
1	-18	50	116,1	163,1	47	2,47

Tabel 6 menyajikan kemampuan mesin penyejuk lain, yaitu *air cooler* yang bekerja dengan prinsip *evaporative cooling* dalam menurunkan suhu, bila kondisi udara masuk

memiliki suhu 30°C, 29°C, 28°C dengan kelembapan relative 70%. Bila dibandingkan dengan hasil yang diperoleh mesin penyejuk udara siklus kompresi uap, hasilnya tidak begitu berbeda. Dengan demikian mesin penyejuk udara siklus kompresi uap ini mampu bersaing dengan *air cooler* yang saat ini, sedang laris manis di pasaran. Mesin penyejuk udara siklus kompresi uap akan memberikan penurunan suhu udara yang besar bila kecepatan aliran udara dibuat kecil dengan kelembapan-relative udara yang rendah.

Tabel 6. Penurunan suhu maksimum yang dapat diperoleh *air cooler*

No	Udara masuk air cooler			Udara keluar air cooler			ΔT _d (°C)
	T _{db} (°C)	T _{wb} (°C)	RH(%)	T _{db} (°C)	T _{wb} (°C)	RH(%)	
1	30	25,1	70	25,1	25,1	100	4,9
2	29	24,5	70	24,5	24,5	100	4,5
3	28	23,6	70	23,6	23,6	100	4,4

V. Kesimpulan

Penelitian memberikan hasil: (a) semakin rendah kecepatan aliran udara, semakin rendah pula suhu udara yang dihasilkan, (b) semakin rendah suhu udara dan semakin rendah kelembapan relative udara yang masuk mesin penyejuk udara siklus kompresi uap, semakin rendah pula suhu udara yang dihasilkan. Mesin penyejuk udara mesin kompresi uap dengan daya total 148 watt ini dapat bekerja dengan baik. Bila kondisi udara masuk bersuhu 30°C, dengan RH 70%, pada kecepatan aliran udara masuk 2,13 m/det, mesin penyejuk udara siklus kompresi uap ini dapat menghasilkan kondisi udara sejuk bersuhu 25,2°C, dengan RH 93%. Kinerja mesin penyejuk udara siklus kompresi uap yang dipergunakan memiliki COP sebesar 2,47. Penelitian dapat dikembangkan menurunkan suhu kerja evaporator ataupun suhu kerja kondensor

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada Universitas Sanata Dharma yang telah memberikan dukungan dana, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan.

Daftar Pustaka

- Mitsunori T, et al., 2013, Dehumidifying and heating apparatus and clothes drying machine using the same, European Patent specification, EP 2 468 948 B1, 27,11,2013.
- Balioglu, et al., 2013, Heat Pump Laundry Dryer Machine, Patent Application Publication, Pub, No: US 2013/0047456 A1, Apr.
- Bison, et al., 2012, Heat Pump Laundry Dryer and a Method for Operating a Heat

- Pump Laundry Dryer, Patent Application Publication, Pub, No: US 2012/0210597 A1.
4. Kusbandono, W dan Purwadi, PK, 2016, Pengaruh adanya kipas yang mengalirkan udara melintasi kondensor terhadap COP dan efisiensi mesin pendingin showcase, <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/472>.
 5. Kusbandono, W dan Purwadi, PK, 2015, COP mesin pendingin refrigeran sekunder, <https://e-journal.usd.ac.id/index.php/JP/article/view/995>.
 6. Wijaya, K dan Purwadi, PK, 2016, Mesin pengering handuk dengan energi listrik, <https://mekanika.ft.uns.ac.id/index.php/mk/article/view/455>.
 7. Purwadi, PK dan Kusbandono, W, 2015, Mesin pengering pakaian energi listrik dengan mempergunakan siklus kompresi uap, <http://eprints.ulm.ac.id/770/>
 8. Purwadi, PK dan Kusbandono, W, 2015, Inovasi mesin pengering pakaian yang praktis, aman dan ramah lingkungan, <http://jurnal.wima.ac.id/index.php/teknik/article/view/915>.
 9. Purwadi, PK dan Kusbandono, W, 2016, Pengaruh kipas terhadap waktu dan laju pengeringan mesin pengering pakaian, <https://journal.uui.ac.id/jurnal-teknoin/article/view/8086>
 10. Purwadi, PK dan Kusbandono, W, 2016, Peningkatan waktu pengeringan dan laju pengeringan pada mesin pengering pakaian energi listrik, <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/article/view/494>