

PERANCANGAN KONDENSOR MESIN PENGERING PAKAIAN MENGUNAKAN *AIR CONDITIONER* ½ PK SIKLUS UDARA TERTUTUP

Deni Kurniawan¹, Azridjal Aziz¹ dan Rahmat Iman Mainil¹

¹Laboratorium Rekayasa Termal, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293

E-mail : azridjal.aziz@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang kondensor mesin pengering pakaian menggunakan mesin pendingin udara dengan sistem kompresi uap siklus udara tertutup. Mesin pengering pakaian ini menggunakan *Air Conditioner* ½ PK. Pada *air conditioner* ini mempunyai dua fungsi penting yaitu sebagai pendingin dan pemanas, dimana panas yang dihasilkan oleh kondensor dan dimanfaatkan sebagai sumber panas untuk pengeringan. Kondensor beroperasi pada keadaan tekanan dan temperatur yang lebih tinggi, proses perpindahan panas yang terjadi pada kondensor pada prinsipnya sama dengan evaporator. Keduanya melibatkan perubahan fasa *refrigerant*. Desain dari kondensor dipengaruhi oleh berat jenis refrigeran, jenis refrigeran yang digunakan pada penelitian ini yaitu R-22, temperatur dan massa jenis udara yang masuk ke kondensor. Pada perancangan ini temperatur kondensor yaitu 45°C dengan beban kondensor 2,3404 kJ/s. Bahan yang digunakan pada perancangan kondensor yaitu pipa tembaga dengan panjang keseluruhan 20 m dan 30 laluan. Maka didapatkan panjang kondensor pada perancangan ini yaitu 0,66 m dengan luas perpindahan panas 0,14 m².

Kata Kunci: Mesin Pengering, Perancangan Kondensor, dan refrigeran

ABSTRACT

The aim of this research is design of condenser for clothes dryers condenser using Air Conditioning with vapor compression system for closed air cycle. The clothes dryer machine use Air Conditioner with power 375 Watts. This air conditioner has two important functions, as heating and cooling, where the heat generated by the condenser is used as a heat source for drying. The condenser was operated in a higher pressure and temperature, the process of heat transfer that occurs in the condenser is the same with process in evaporator that involve a phase change of refrigerant. The design of condenser is affected by the refrigerant density, the refrigerant type, temperature and density of the air entering the condenser. In this design the condenser temperature is 45C with condenser load 2.3404 kJ /s. The materials used in the design of the condenser is a copper pipe with an overall length of 20 m with 30 pass. The results of design showed condenser length is 0.66 m with heat transfer area is 0.14 m².

Keywords : dryer machine, condenser design, refrigerant

PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan proses perpindahan panas dari lingkungan kemedi yang ingin dikeringkan. Dimana pada saat pengeringan terjadi penguapan fluida yang terkandung pada pakaian (Nainggolan, 2014). Upaya yang dapat dilakukan untuk membuat udara kering adalah dengan melakukan

pemanasan terhadap udara tersebut sebelum melintasi material yang dikeringkan dengan kondisi udara yang panas dan kering mampu menyerap air yang membasahi material tersebut sampai kering dalam waktu yang lebih cepat (Suriadi dan Murti, 2011). Energi matahari biasa dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif

yang potensial, terutama dilihat dari sumbernya yang memancarkan energi yang sangat besar serta waktunya yang panjang. Selain itu diharapkan energi matahari dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik yang ramah lingkungan, sehingga apabila energi ini dapat dikelola dengan baik, diharapkan kebutuhan masyarakat akan energi dapat terpenuhi (Yahona, 2010).

Selain pengeringan konvensional, pengeringan juga bisa dilakukan dengan cara buatan yaitu dengan metode dehumidifier, metode ini mengeringkan pakaian dengan memanfaatkan panas buang kondensor. Berdasarkan penelitian yang dilakukan sebelumnya yaitu rancang bangun kondensor untuk mesin pengering pakaian sistem pompa kalor dengan daya 745,6 Watt memiliki beberapa kekurangan yaitu besarnya energi listrik yang diperlukan untuk daya kondensor. Dari prinsip kerja dari pengering yang menggunakan 1 PK hanya memanfaatkan panas buang kondensor sedangkan yang diteliti menggunakan 1 set mesin pendingin ruangan dengan daya $\frac{1}{2}$ PK, yang dari segi pengeringannya lebih cepat dan proses perpindahan panasnya lebih tinggi.

Pada penelitian ini dilakukan suatu perancangan ulang kondensor untuk mesin pengering pakaian menggunakan mesin pendingin ruangan dengan siklus kompresi uap siklus udara tertutup dengan daya 305 watt, penelitian ini bertujuan untuk menghemat energi tetapi menghasilkan pengeringan yang lebih efisien.

Adapun tujuan dari pengurangan kapasitas pengeringan dari perancangan awal 1 PK menjadi $\frac{1}{2}$ PK karna dari segi biaya $\frac{1}{2}$ PK lebih murah dari pada 1 PK. Dari segi desain yang kami buat lebih sederhana tetapi dari hasil pengeringannya lebih efektif. Untuk penggunaan energi listrik lebih hemat dan karna dimensinya lebih kecil sehingga mudah dipindah-pindahkan dan tidak makan tempat yang banyak pada ruangan.

Jenis Pengeringan

Pengeringan terbagi 2, yaitu (Arora, 2000):

- Pengeringan Buatan

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

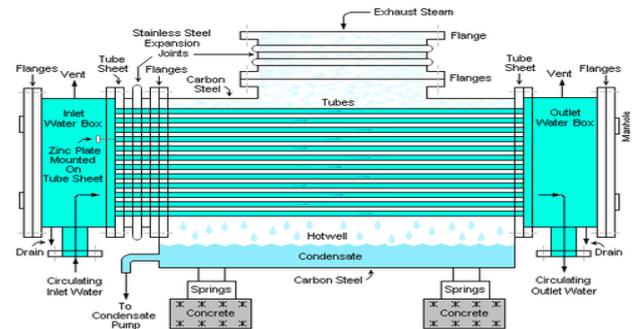
- Pengeringan Alami

Pengeringan alami yaitu pengeringan yang memanfaatkan panas dari sinar matahari untuk proses pengeringan. Dimana kelembaban, suhu dan kecepatan udara tergantung dari panas yang dipancarkan oleh matahari.

Faktor yang Mempengaruhi Pengeringan (Arora, 2000).

- a. Volume ruang pengeringan
- b. Suhu
- c. Kecepatan udara
- d. Kelembaban udara (RH)
- e. Waktu

Kondensor merupakan alat untuk melepaskan panas. Panas dari udara kamar yang diserap *refrigerant* di evaporator dilepaskan melalui kondensor. Pada kondensor *refrigerant* berubah dari fasa gas ke cair. Untuk lebih jelasnya lihat Gambar 1.



Gambar 1. Kondensor

(<https://gregoriusagung.wordpress.com/2010/12/1/1/mesin-pendingin-siklus-kompresi-uap/>.)

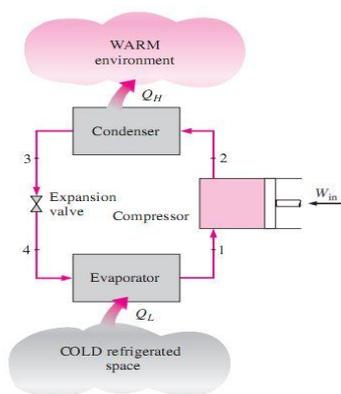
Pengeringan Menggunakan Air Conditioner

Pengeringan cara ini dengan memanfaatkan panas buang kondensor pada mesin pendingin ruangan yang mana alat ini dirancang seperti lemari pakaian biasa yang didalamnya terdapat mesin pendingin ruangan. Kondensor dari mesin pendingin ruangan inilah yang menghasilkan panas untuk proses pengeringannya.

Pemanfaatan panas buang kondensor mesin pendingin ruangan untuk pengeringan dapat dijadikan alternatif pengeringan tanpa biaya tambahan pada daerah padat yang tidak memiliki halaman. Laju pengeringan berkisar antara 0,56 kg/jam sampai 0,75 kg/jam.

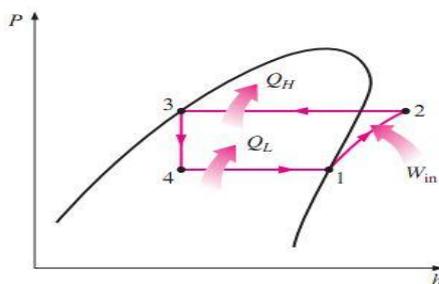
Daur Kompresi Uap

Daur kompresi uap merupakan daur yang banyak digunakan dalam refrigerasi. Pada daur ini uap ditekan, dan kemudian diembunkan menjadi cairan, kemudian tekanannya diturunkan agar cairan tersebut dapat menguap kembali. Sistem kompresi uap sederhana terlihat pada Gambar 2 (Cengel, 2003)



Gambar 2. Skematik siklus kompresi uap (Cengel, 2003)

Refrigeran yang bertekanan rendah akan menguap didalam pipa-pipa pada evaporator. Penguapan ini membutuhkan energi kalor yang diserap dari sekelilingnya, sehingga ruangan menjadi dingin karena temperaturnya turun. Di dalam kondensor, energi kalor yang dibawa oleh uap refrigeran dilepaskan dan diterima oleh medium pendinginnya (udara). Pada Gambar 3 dapat dilihat siklus kompresi uap standar (Cengel, 2003).



Gambar 3. Diagram tekanan-entalpi siklus kompresi uap (Cengel 2003)

Beberapa proses yang bekerja pada siklus ini adalah (Ambarita, 2012):

1. Proses kompresi.
2. Proses kondensasi.
3. Proses ekspansi.
4. Proses evaporasi.

Pompa Kalor

Pompa kalor (*heat pump*) adalah suatu perangkat yang mentransfer panas dari media suhu rendah ke suhu tinggi. Sebagian besar teknologi pompa kalor memindahkan panas dari sumber panas yang bertemperatur rendah ke lokasi bertemperatur lebih tinggi. Contoh yang paling umum adalah lemari es, *freezer*, pendingin ruangan, dan sebagainya. Pompa kalor merupakan perangkat yang sama dengan mesin pendingin (*Refrigerator*), perbedaannya hanya pada tujuan

akhirnya. Mesin pendingin bertujuan menjaga ruangan pada suhu rendah (dingin) dengan membuang panas dari ruangan. Sedangkan pompa kalor bertujuan menjaga ruangan berada pada suhu yang tinggi (panas) (Ambarita, 2012).

Adapun parameter yang digunakan yaitu:

- *Coeffisien of performance* (COP) (Cengel, 2003).

$$COP = \frac{Q_e}{W_c} \quad (1)$$

- Untuk sisi refrigeran ((Incropera, 2007).

- Fluks kalor

$$G = \frac{\dot{m}_{R22}}{\pi x r^2} \quad (2)$$

- Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{G \cdot Di}{\mu} \quad (3)$$

- Bilangan *prandtl*

$$Pr = \frac{Cp \times \mu_l}{K} \quad (4)$$

- Untuk sisi udara

- Laju massa udara

$$M_{ud} = \frac{Q_e}{Cp \times \Delta T_u} \quad (5)$$

- Kecepatan udara persatuan luas

$$G_{ud} = \frac{M_{ud}}{\sigma \times A_{fr}} \quad (6)$$

- Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{Dh \times G_{ud}}{\mu} \quad (7)$$

- Bilangan Stanton

$$jH = st \times Pr^{2/3} \quad (8)$$

- Koefisien perpindahan kalor untuk sisi udara

$$h_o = st \times G_{ud} \times Cp \quad (9)$$

- Koefisien perpindahan panas menyeluruh

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{\eta_o \times h_o} + R_{f1} + R_{f2}} \quad (10)$$

- Perbedaan temperatur rata-rata log (Kakac, 1997)

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)} \quad (11)$$

- Luas perpindahan panas untuk uap *superheated*.

$$A = \frac{Q_e}{U \times F \times LMTD} \quad (12)$$

- Koefisien perpindahan panas menyeluruh Untuk sisi refrigeran (h_i) (Steve, 2010).

$$\frac{h_i \cdot Di}{K_l} = 0.0023 (Re)^{0.8} (Pr)^n \quad (13)$$

- Luas perpindahan panas total (Kakac, 1997).

$$A_{kon} = \frac{Q_{kon}}{U_{kon} \cdot F_{kon} \cdot LMTD} \quad (14)$$

METODOLOGI

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode perancangan. Dimana sebelum memulai perancangan terlebih dahulu mendesain alat. Pada Gambar 4 dapat dilihat diagram alir penelitian.



Gambar 4. Diagram alir perancangan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Adapun data awal perancangan adalah:

Daya kompresor = 220 V, 1.3 A (305Watt)
Temperatur kondensor (Tk) = 45°C
Temperatur evaporator (Te) = 16°C

Siklus pendinginan:

$h_1 = 408,835$ dan $s_1 = 1,73775$
 $v_1 = 29,1361$ (L/kg)
 h_3 dan $h_4 = 263,246$ (kJ/kg)
 $T_{eva} = 10^\circ\text{C}$, $P_{eva} = 680,70$ (kPa)
 $T_{kon} = 45^\circ\text{C}$, $P_{kon} = 1729$ (kPa)

Dengan menggunakan data pada Tabel A6 (Stoecker, 1982) untuk R-22 dan proses pertamanya dianggap isentropis maka $S_1 = S_2s = 1,73775$.

Secara interpolasi dari tabel tersebut didapat:

$h_2 = 430,508$ kJ/kg
 $v_2 = 14,88$ L/kg

dari data diatas maka dapat ditentukan:

- Daya kompresor

$$W_c = V \times I = 228,8 \text{ watt (0,2288 kW)}$$

Dimana:

V = Tegangan kondensator
I = Arus

- Dampak refrigrasi

$$Q_e = 0,305 \text{ kW}$$

- Kalor yang dikeluarkan oleh kondensator

$$Q_K = \dot{m} (h_2 - h_3) = 2,341 \text{ kW}$$

- COP (Coefficient Of Performance)

$$\text{COP} = Q_e / W_c = 1,33$$

Perancangan Kondensator

Pada perancangan ini menggunakan kondensator dengan sistem konveksi paksa dengan kipas untuk mengambil panas. Bahan pipa pada kondensator terbuat dari pipa tembaga dengan diameter luar 0.5 in dan diameter dalam 0.4 in.

Data yang lain digunakan dalam perencanaan ini adalah sebagai berikut:

- 1) Diameter dalam pipa tembaga = 0,00385 m
- 2) Diameter luar pipa tembaga = 0,00635 m
- 3) Beban kondensator pada saat *superheated*,
 $Q_K \text{ superheated} = \dot{m} (h_1 - h_2')$
 $= 0,1864 \text{ kJ/s}$

1. Beban kondensator pada saat kondensasi,
 $Q_K \text{ kondensasi} = \dot{m} (h_2' - h_4)$
 $= 1,539 \text{ kJ/s}$

2. Beban kondensator total
 $= Q_K \text{ superheated} + Q_K \text{ kondensasi}$
 $= 0,1864 \text{ kJ/s} + 2,154 \text{ kJ/s}$
 $= 2,3404 \text{ kJ/s}$

Data Eksisting Kondensator

Diameter luar pipa : 0,0127 m
Banyak lintasan pipa : 20
Tinggi sirip : 0,05 m
Tebal sirip : 0,0003 m
Jumlah sirip tiap in : 10/in
Jarak antar sirip : 2 mm
Jarak antara pipa (sn) : 0,025 m
Temperatur udara masuk : 30°C
Temperatur udara luar : 40°C
Tekanan R₂₂ didalam kondensator = 1942 Kpa

Berdasarkan pertimbangan dari segi konstruksi maka digunakan kondensator dengan media pendinginan udara. Untuk mencari besarnya efek perpindahan panas yang, pada Gambar 5, dapat dilihat perancangan evaporator.

$$A_{fr} = (sn \times Do) = 0,00635 \text{ m}^2$$

sn = Jarak antar pipa

Koefisien Perpindahan Kalor Sifat-sifat R-22

pada suhu rata-rata $\frac{45^\circ\text{C} + 40^\circ\text{C}}{2} = 42,5^\circ\text{C}$

$$\mu_l = 0,000183 \text{ Ns/m}^2$$

$$C_{pl} = 1,3385 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$$

$$K_l = 0,0763 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

- Fluks massa refrigeran (Incropera, 2007)

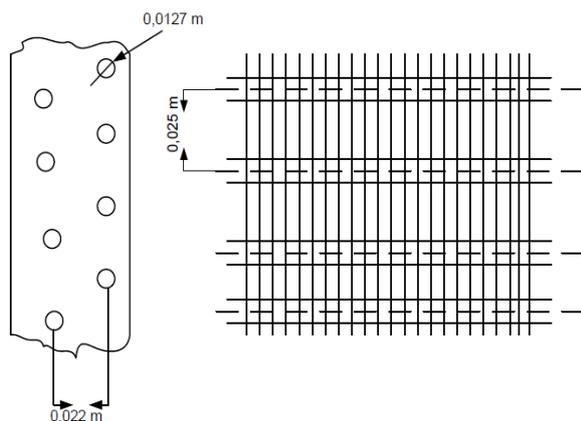
$$G = \frac{\dot{m}}{\pi r^2} = 155,55 \text{ kg/s} \cdot \text{m}^2$$

- Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{G \cdot Di}{\mu} = 3327$$

- Bilangan Prandtl

$$Pr = \frac{Cp_g \cdot \mu_g}{k_g} = 1,12$$



Gambar 5. Perancangan kondensor (Nainggolan, 2014)

Untuk aliran turbulen satu fase Dittus Bolter menyarankan menggunakan persamaan:

$$\frac{h_i \cdot Di}{K_l} = 0,0023 (Re)^{0,8} (Pr)^n$$

$$hi = 312,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Untuk sifat-sifat udara diatas dilihat pada (Tabel B.1 heat exchangers. Kakac) pada temperatur rata-rata $\frac{40+30}{2} = 35^\circ\text{C}$ adalah sebagai berikut:

$$Di = 0,00385 \text{ m}$$

$$\mu = 0,000184 \frac{\text{Ns}}{\text{m}^2}$$

$$Cp = 1006 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$K = 0,0261 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

- Faktor Pengotoran

$$U_{kon} = \frac{1}{\frac{1}{hi} + \frac{1}{\eta_o \times hud} + R_{f1} + R_{f2}} = 261,78 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)} = 8,187^\circ\text{C}$$

- Faktor koreksi (F)

$n = 0,3$ karena refrigeran mengalami pendinginan

$$\sigma = 0,534$$

Perpindahan panas konveksi sisi udara (h_o)

- Laju massa udara

$$M_{ud} = \frac{Q_k}{Cp_u \cdot \Delta t_u} = 0,214 \text{ kJ/s}$$

- Kecepatan udara persatuan luas

$$G = \frac{M_{ud}}{\sigma \cdot A_{fr}} = 63,69 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

- Bilangan Reynolds

$$Re = \frac{Dh \cdot G}{\mu} = 865,35$$

Dari grafik perpindahan kalor-faktor gesekan pada buku (Incropera, 2007), untuk penukar kalor tabung bersirip dengan $Re = 863,45$ maka didapat $jH = 0.012$

- Bilangan Stanton

$$St = \frac{jH}{Pr^{2/3}} = \frac{0,012}{1,12^{2/3}} = 0,012$$

Koefisien perpindahan kalor untuk sisi udara (h_o)

$$h_o = St \cdot G \cdot Cp = 448,5 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

- Efisiensi sirip

Efisiensi sirip dapat dicari dengan menggunakan grafik *efficiency of straight fins*

$$\left(\eta \text{ vs } Lc^2 \left(\frac{h}{K} Ap \right)^{0,5} \right)$$

didapat nilai $\eta = 0.89$ (Incropera, 2007), Panjang sirip 15 mm (L) = 0,015 m
Tebal sirip 0.3 mm (t) = 0,0003 m

$$\eta_o = 1 - \frac{A_p}{A} (1 - \eta_p) = 0,999 = 99,9 \%$$

Dari grafik F untuk aliran silang (Heat Exchanger, hal 47) dengan P = 0.66 dan R = 0.8 maka didapat F = 0.81

- Luas perpindahan panas untuk uap superheated berdasarkan sisi dalam

$$A_{superheated} = \frac{Q_{ks}}{U_{ks} \cdot F_{ks} \cdot LMTD} = 0,1 \text{ m}^2$$

- Untuk kondensasi

$$U_{kon} = \frac{1}{\frac{1}{hi} + \frac{1}{\eta_o \times hud} + R_{f1} + R_{f2}}$$

$$= 172,063 \text{ W/m}^2\text{C}$$

$$LMTD = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{\ln\left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1}\right)}$$

$$= 6,25 \text{ }^\circ\text{C}$$

- Luas perpindahan panas total untuk kondensasi berdasarkan sisi dalam pipa

$$A_{kon} = \frac{Q_{kon}}{U_{kon} \cdot F_{kon} \cdot LMTD}$$

$$= 0,14 \text{ m}^2$$

$$\text{Maka, } A_{total} = A_{sup} + A_k$$

$$= 0.1 + 0.14$$

$$= 0.24 \text{ m}^2$$

- Panjang pipa yang diperlukan pada kondensator

$$A = \pi \times Di \times L$$

$$L = \frac{A}{\pi \times Di}$$

$$= \frac{0.24}{3.14 \times 0.0038} = 20 \text{ m}$$

Maka dengan ini kita dapat menentukan panjang pipa untuk tiap lintasan, yaitu :

$$l = \frac{L}{n}$$

$$= \frac{20 \text{ m}}{30} = 0.66 \text{ m}$$

KESIMPULAN

Pada perancangan ini digunakan kondensator dengan sistem konveksi paksa dengan kipas untuk menyerap panas. Bahan pipa pada kondensator terbuat dari pipa tembaga dengan diameter luar 0.5 in dan diameter dalam 0.4 in. Hasil perancangan kondensator diperoleh panjang pipa 20 m dengan panjang laluan 0,66 m sebanyak 30 laluan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ambarita. Himsar. 2012. Teknik pendingin Dan Pengkondisian Udara. Medan.
- Arora C.P. 2000. *Refrigeration And Air Conditioning. Second Edition. Tata Mcgraw-Hill Publishing Company Ltd .*
- Cengel, Yunus A. 2003. *Heat Transfer A Practical Approach, Mc Graw Hill, Singapore,*
- Eflita Yahona, Muchammad. 2010. Pengaruh Suhu Permukaan *Photovoltaic Module 50 Watt Peak Terhadap Daya Keluaran Yang Dihasilkan Menggunakan Reflektor Dengan Variasi Sudut Reflektor 00, 500, 600, 700, 800.* Universitas Diponegoro. Yogyakarta.
- Holman, J.P. 1986. *Perpindahan Kalor, sixth Edition.* Penerbit Erlangga.
- <https://gregoriusagung.wordpress.com/2010/12/11/mesin-pendingin-siklus-kompresi-uap/>.
- I Gusti Agung Kade Suriadi, Made Ricki Murti. 2011. Kesetimbangan Energi Termal Dan Efisiensi Transient Pengering Aliran Alami Memanfaatkan Kombinasi Dua Energi.
- Incropera, Frank P. 2007. *Fundamentals Of Heat And Mass Transfer, Seven Edition.* United State Of America.
- Kakac, Sadic, Liu, Hongtan, 1997. *Heat Exchangers: selection, ranting, and Thermal Design.*
- Nainggolan, Ricardo. 2014. Rancang Bangun Kondensator Untuk Mesin Pengering Pakaian Sistem Pompa Kalor Dengan Daya 1 PK. *Jurnal Teknik Mesin.* Universitas Sumatra Utara.
- Steve Meyers, 2010. *ACEEE Sumber Study On Energy Efficiency In Building.*
- W .F. Stoecker, and J.W. Jones, 1982, *Refrigeration and air conditioning,* Mc Graw-Hill.