



ANALISA TERMODINAMIKA LAJU PERPINDAHAN PANAS DAN PENDINGINAN PADA MESIN PENDINGIN BERBAHAN BAKAR GAS DENGAN VARIABEL TEMPERATUR LINGKUNGAN

Ambo Intang^{1*}, Darmansyah¹

¹Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tamansiswa Jl. Tamansiswa No.261 Palembang, Indonesia

*Email Penulis: ambo.intang@gmail.com

INFORMASI ARTIKEL

Naskah Diterima 29/04/2018
Naskah Direvisi 30/04/2018
Naskah Disetujui 30/04/2018
Naskah Online 30/04/2018

ABSTRAK

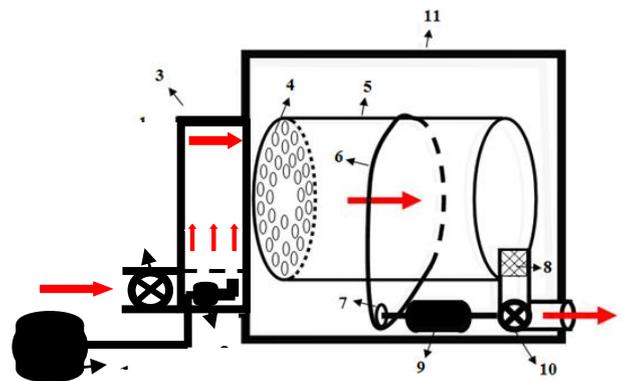
Seiring perkembangan zaman, pengeringan pakaian yang dahulu hanya memanfaatkan sinar matahari, sekarang sudah banyak beralih kepada mesin pengering mekanis karena membutuhkan waktu yang lebih singkat, tidak perlu tempat yang luas, terjaga kebersihannya dan tidak tergantung pada cuaca, tapi dipengaruhi oleh temperatur lingkungan. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari suhu lingkungan terhadap laju perpindahan kalor dan pengeringan pada mesin pengering pakaian agar diketahui berapa beban yang ideal untuk dikeringkan dan temperatur lingkungan yang tepat menggunakan mesin, sehingga pemakaiannya akan lebih efektif dan efisien. Didapatkan laju perpindahan kalor terbesar terjadi pada beban yang paling berat (5.3 kg) dan yang dikeringkan pada suhu lingkungan yang lebih rendah (T lingkungan 27 °C) yaitu sebesar 18.89 kJ/s sedangkan laju pengeringan tertinggi terjadi pada beban 5.3 kg (T lingkungan 34 °C) dan terendah pada beban 1.6 kg (T lingkungan 27 °C). Semakin berat beban semakin efisien penggunaannya dan suhu lingkungan yang tinggi adalah temperatur lingkungan yang tepat menggunakan mesin pengering sedangkan pengeringan yang membutuhkan laju perpindahan kalor yang tinggi menandakan proses pengeringan yang lebih lama.

Katakunci: suhu lingkungan, perpindahan kalor, laju pengeringan, diagram psikrometrik

1. PENDAHULUAN

Pengeringan merupakan suatu kegiatan yang dilakukan untuk tujuan menurunkan kadar air pada bahan yang basah, dan di harapkan hasil pengeringan kadar air habis hingga 100%. Sejak zaman nenek moyang hingga sekarang pengeringan yang banyak dilakukan secara konvensional dengan pemanfaatan sinar matahari. Cara ini tidak memerlukan biaya yang besar tetapi sebaliknya cara ini sangat mudah dan praktis, akan tetapi mempunyai kendala saat keadaan cuaca yang kurang mendukung, memerlukan tempat yang luas dan waktu yang cukup lama serta kurang terjaga kebersihannya dalam proses pengeringan (Mujumdar 2006).

Pengeringan dengan alat pengering mekanis yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan (Modifikasi) Mesin Pendingin Pakaian

(Ambo Intang,2017)

Keterangan Gambar 1:

- | | |
|------------------------------|--|
| 1. Kipas | 7. Pully |
| 2. Heater (Selenoid burner) | 8. Filter / Saringan |
| 3. Ruang Pembakaran | 9. Motor Listrik |
| 4. Lubang Saluran Masuk Drum | 10. Fan |
| 5. Drum Pengereng | 11. Casing / Pembungkus Komponen Mesin |
| 6. Vant Belt / Sabuk | 12. Gas LPG 3 Kg |

mebutuhkan waktu yang lebih singkat, tidak perlu tempat yang luas, lebih terjaga kebersihannya dan tidak bergantung pada kondisi cuaca. Pengereng mekanis dalam hal ini, memerlukan sumber panas buatan yang berasal dari bahan bakar biomasa, bahan bakar minyak dan gas, elemen pemanas tenaga listrik maupun penggunaan limbah panas. Sumber panas buatan yang penulis gunakan pada penelitian ini adalah hasil dari pembakaran gas LPG. Penggunaan gas LPG lebih hemat dibandingkan dengan pemanas dengan tenaga listrik yang membutuhkan daya ribuan watt.

Mesin pengereng pakaian yang penulis gunakan untuk penelitian ini adalah mesin pengereng bertenaga listrik yang dimodifikasi menjadi bertenaga sistem pompa panas (Ambo Intang, 2017) dan dinovasi lanjut dengan pemanas berbahan bakar gas dengan penambahan kipas untuk mendapatkan efek konveksi paksa, dimana kipas digunakan untuk mengalirkan udara panas menuju drum pengereng. Kecepatan aliran udara kipas yang digunakan adalah kecepatan tetap high speed (3.5 m/s). Pada penelitian ini digunakan variasi beban pakaian antara lain 1.6 kg, 3.7 kg dan 5.3 kg yang akan dikeringkan (mesin pengereng) di ruang terbuka pada malam hari (T lingkungan 27 °C) dan siang hari (T lingkungan 34 °C). Perbedaan suhu lingkungan saat pengujian kemungkinan akan berpengaruh terhadap laju perpindahan kalor dan pengereng yang terjadi.

2. METODELOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini, alat yang digunakan menggunakan mesin pengereng pakaian dengan sistem konveksi paksa seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Proses kerja dari mesin pengereng pakaian pada penelitian ini :

Panas hasil pembakaran oleh heater (selenoid burner) [2] di ruang pembakaran [3] didorong oleh kipas [1] menuju ke dalam drum pengereng [5] melalui lubang saluran masuk drum [4]. Ketika didalam drum udara panas tersebut mengeringkan pakaian bersamaan dengan putaran bolak balik drum oleh vant belt [6] yang digerakkan oleh motor listrik [9], karena putaran dari fan [10] udara didalam drum terhisap dan tersaring oleh filter [8] dan dibuang ke lingkungan.

Aliran udara keluar dari kipas pada kecepatan tertentu ($V_{\text{Aliran Udara Kipas}}$) berasal dari udara luar pada T lingkungan °C, kemudian mengalami pemanasan pada ruang pembakaran yang dialiri panas hasil pembakaran oleh heater menuju drum pengereng, dan akhirnya meninggalkan drum pengereng pada kondisi temperatur T_{db} dan T_{wb} .

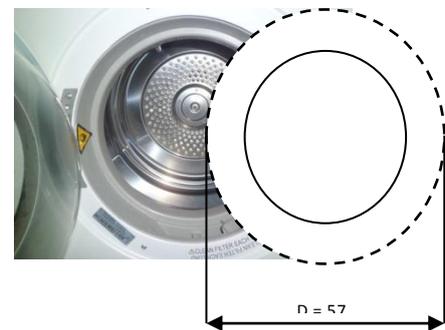
Kain/pakaian yang digunakan untuk pengujian mesin pengereng terbuat dari bahan polyester dengan beban divariasikan 1.6 kg, 3.7 kg dan 5.3 kg. Pakaian berbahan polyester ini akan dibasahi kemudian dikeringkan menggunakan mesin pengereng lalu dicatat temperatur dan lama waktu pengeringannya, dengan dua suhu lingkungan yang berbeda yaitu 27°C didapat pada malam hari dan 34°C pada siang hari.

Penelitian ini dilakukan di ruang terbuka dan data pengukuran yang akan di ambil adalah suhu ruang pembakaran (°C), temperatur bola kering masuk (T_{db} masuk), temperatur bola basah masuk (T_{wb} masuk), temperatur bola kering keluar (T_{db} keluar), dan temperatur bola basah keluar (T_{wb} keluar). Temperatur bola kering dan temperature bola basah masuk diambil pertama kali dengan mengeringkan pakaian sampai 100% kering sehingga menjadi acuan untuk percobaan berikutnya (T_{db} keluar dan T_{wb} keluar) yang menunjukkan bahwa pakaian telah kering sempurna secara kualitatif. Data hasil penelitian akan digunakan untuk menghitung laju pengereng dan perpindahan kalor yang terjadi selama proses pengereng secara kuantitatif.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil

Perhitungan Luas Penampang (A)



Gambar 2. Besar Luas Penampang Drum Pengereng

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{1}{4} \pi D^2 \\
 &= \frac{1}{4} (3,14)(57\text{cm})^2 \\
 &= 2550,5 \text{ cm}^2 = 0,255 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan Laju Aliran Massa (\dot{m})

Nilai ρ diambil dari table A - 15 *Properties of air at 1 atm pressure* (lampiran). ρ untuk T = 27 °C (malam hari) adalah sebesar 1.176 kg/m³.

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= \rho \times v \times A \quad (\text{Moran dan Shapiro, 2000}) \\
 &= 1.176 \text{ kg/m}^3 \times 3.5 \text{ m/s} \times 0.255 \text{ m}^2 \\
 &= 1.049 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Sedangkan ρ untuk T = 34 °C (siang hari) adalah sebesar 1.149 kg/m³.

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= \rho \times v \times A \\
 &= 1.149 \text{ kg/m}^3 \times 3.5 \text{ m/s} \times 0.255 \text{ m}^2 = 1.025 \text{ kg/s}
 \end{aligned}$$

Besar Nilai h_{in} dan h_{out}

Berikut ini contoh penentuannya: Nilai h_{in} dan h_{out} bisa didapat dengan menarik garis manual pada diagram psikometrik dari temperatur bola kering dan bola basah yang didapat dalam pengujian pada temeptratur lingkungan 27 °C, tapi karena nilai T_{db} (45 °C) dan T_{wb} (35 °C) yang cukup tinggi, maka lebih mudah dan akurat bila menggunakan software psikometrik yaitu CYTSoft Psychrometric Chart 2.2, berikut cara menggunakan dan mencari nilai h_{in} dan h_{out} .

- Nilai h_{in} didapat dari $T_{db} = 45\text{ °C}$ dan $T_{wb} = 35\text{ °C}$, Sehingga nilai h_{in} adalah $128.7997\text{ kJ/kg} \approx 128.80\text{ kJ/kg}$
- Nilai h_{out} didapat dari $T_{db} = 38\text{ °C}$ dan $T_{wb} = 33\text{ °C}$, Sehingga nilai h_{out} adalah $116.5452\text{ kJ/kg} \approx 116.54\text{ kJ/kg}$

Perhitungan Besar Perpindahan Kalor (Q)

$$\begin{aligned}
 Q &= \dot{m} \cdot (h_{in} - h_{out}) \text{ (Chengel, Yunus A. 2007)} \\
 &= 1.049\text{ kg/s} \cdot (128.80\text{ kJ/kg} - 116.54\text{ kJ/kg}) \\
 &= 1.049\text{ kg/s} \cdot (12.26\text{ kJ/kg}) \\
 &= 12.86\text{ kJ/s}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Laju Pengeringan (Suarnadwipa N. dan Hendra, 2008)

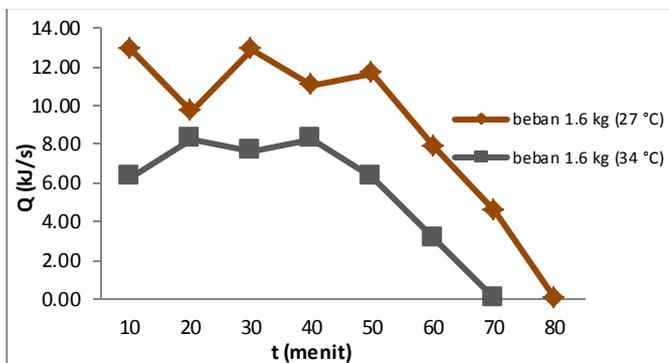
- Berat basah (Massa awal bahan) = 1.6 kg
- Berat kering (Massa akhir bahan) = 0.8 kg
- Periode pengeringan (t) = 80 menit = 1.33 jam

$$\begin{aligned}
 \text{Laju pengeringan} &= \frac{\text{Massa awal bahan} - \text{Massa akhir bahan}}{\text{Periode pengeringan}} \\
 &= \frac{1.6\text{ kg} - 0.8\text{ kg}}{1.33\text{ jam}} \\
 &= \frac{0.8\text{ kg}}{1.33\text{ jam}} \\
 &= 0.6\text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

3.2 Pembahasan

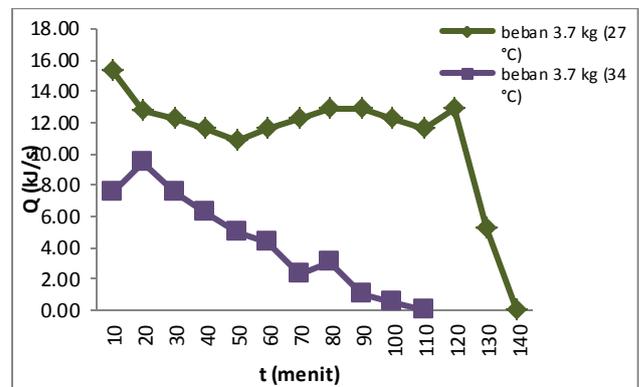
Berikut disajikan grafik lengkap hasil perhitungan laju perpindahan kalor (Q) terhadap waktu pengeringandan laju pengeringan (M) dari pengambilan data pengeringan pada malam hari (suhu lingkungan = 27 °C) dan siang hari (suhu lingkungan = 34 °C) dan analisa hasilnya.

1. Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Laju Perpindahan Kalor



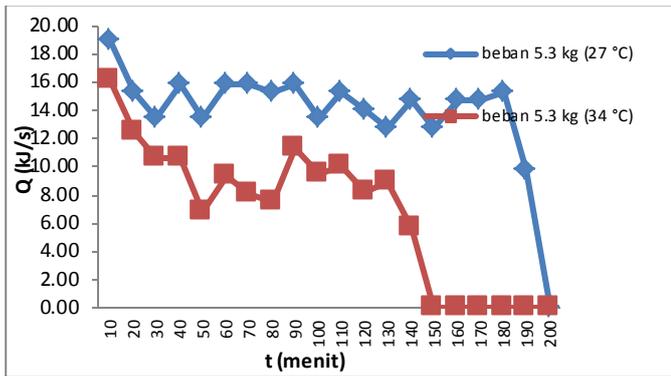
Gambar 3. Grafik Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Q pada Beban 1.6 kg

Dari grafik diatas dapat kita lihat pengaruh suhu lingkungan terhadap laju perpindahan kalor (Q). Pada pengeringan pakaian dengan beban yang sama (1.6 kg) terlihat perbedaan besarnya laju perpindahan kalor yang terjadi. Pada pengeringan dengan beban 1.6 kg (T lingkungan 27 °C) perpindahan kalor terbesar adalah 12.93 kJ/s lebih tinggi dibandingkan dengan pengeringan pada beban 1.6 kg (T lingkungan 34 °C) yang mana perpindahan kalor terbesarnya adalah 8.25 kJ/s. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu lingkungan maka massa jenis (ρ) udara akan semakin berkurang (table properties of air at 1 atm pressure), begitupun dengan selisih $h_{in} - h_{out}$ (Δh) nya. Berkurangnya massa jenis (ρ) udara membuat laju aliran massanya semakin kecil. Laju aliran massa yang kecil mengakibatkan laju perpindahan kalor (Q) semakin rendah.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Q pada Beban 3.7 kg

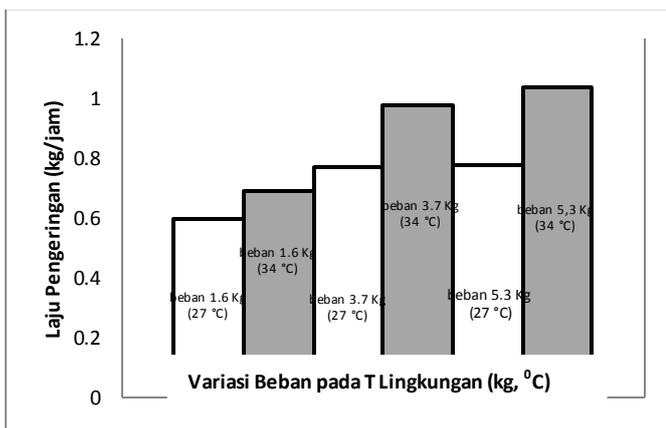
Dari grafik diatas dapat kita lihat pengaruh suhu lingkungan terhadap perpindahan kalor (Q). Pada pengeringan pakaian dengan beban yang sama (3.7 kg) terlihat perbedaan besarnya perpindahan kalor yang terjadi. Pada pengeringan dengan beban 3.7 kg (T lingkungan 27 °C) perpindahan kalor terbesar adalah 15.33 kJ/s lebih tinggi dibandingkan dengan pengeringan pada beban 3.7 kg (T lingkungan 34 °C) yang mana perpindahan kalor terbesarnya adalah 9.45 kJ/s. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu lingkungan maka massa jenis (ρ) udara akan semakin berkurang (table properties of air at 1 atm pressure), begitupun dengan selisih $h_{in} - h_{out}$ (Δh) nya. Berkurangnya massa jenis (ρ) udara membuat laju aliran massanya semakin kecil. Laju aliran massa yang kecil mengakibatkan perpindahan kalor (Q) semakin rendah.



Gambar 5. Grafik Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Q₀ pada Beban 5.3 kg

Dari grafik diatas dapat kita lihat pengaruh suhu lingkungan terhadap perpindahan kalor (Q). Pada pengeringan pakaian dengan beban yang sama (5.3 kg) terlihat perbedaan besarnya perpindahan kalor yang terjadi. Pada pengeringan dengan beban 5.3 kg (T lingkungan 27 °C) perpindahan kalor terbesar adalah 18.89 kJ/s lebih tinggi dibandingkan dengan pengeringan pada beban 5.3 kg (T lingkungan 34 °C) yang mana perpindahan kalor terbesarnya adalah 16.11 kJ/s. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu lingkungan maka massa jenis (ρ) udara akan semakin berkurang (table properties of air at 1 atm pressure), begitupun dengan selisih $h_{in} - h_{out}$ nya. Berkurangnya massa jenis (ρ) udara membuat laju aliran massanya semakin kecil. Laju aliran massa yang kecil mengakibatkan perpindahan kalor (Q) semakin rendah.

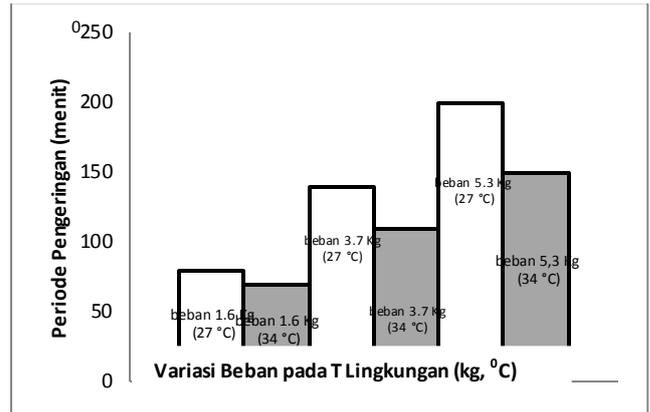
2. Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Laju Pengeringan



Gambar 6. Grafik Pengaruh Suhu Lingkungan terhadap Laju Pengeringan

Dari grafik diatas dapat kita lihat pengaruh suhu lingkungan terhadap laju pengeringan. Pada beban yang sama laju pengeringan akan semakin besar bila pakaian dikeringkan (mesin pengering) pada suhu lingkungan yang lebih tinggi. Terlihat pada grafik diatas laju pengeringan pada beban 1.6 kg, 3.7 kg dan 5.3 kg (T lingkungan 34 °C) sebesar 0.69 kg/jam, 0.98 kg/jam dan

1.04 kg/jam lebih tinggi dibanding dengan laju pengeringan pada beban 1.6 kg, 3.7 kg dan 5.3 kg (T lingkungan 27 °C) yang hanya sebesar 0.60 kg/jam, 0.77 kg/jam dan 0.78 kg/jam. Hal ini disebabkan karena pada suhu lingkungan yang tinggi, suhu pada ruang pembakaran akan meningkat. Tercatat pada T lingkungan 27 °C (T ruang pembakaran 55-80 °C) sedangkan pada T lingkungan 34 °C (T ruang pembakaran 60-85 °C). Terjadinya perubahan suhu pada ruang pembakaran dikarenakan dampak dari tingkat kelembaban lebih rendah pada T lingkungan yang lebih tinggi.



Gambar 7. Grafik Periode Pengeringan

Kipas membawa udara dari lingkungan kedalam ruang pembakaran dan drum pengering. Udara tersebut mengalami pemanasan di ruang pembakaran yang kemudian dilanjutkan ke drum pengering. Jika suhu lingkungan tinggi maka udara yang masuk tingkat kelembabannya akan rendah, kelembaban menandakan jumlah kadar uap air yang terikat pada udara. Semakin rendah kelembaban maka kadar uap airnya semakin sedikit sehingga udara yang dipanaskan pada ruang pembakaran, suhunya akan lebih tinggi dibanding bila udara tersebut tingkat kelembabannya tinggi. Kelembaban udara juga berpengaruh terhadap proses pemindahan uap air didalam drum pengering. Apabila kelembaban udara rendah, maka perbedaan tekanan uap air di dalam dan di luar bahan menjadi besar sehingga mempercepat pemindahan uap air dari dalam bahan keluar. Suhu ruang pembakaran yang tinggi disertai tingkat kelembaban yang rendah mempersingkat periode pengeringan sehingga meningkatkan laju pengeringan untuk bahan tersebut (Gambar 7).

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

1. Dari hasil pengujian didapat laju perpindahan kalor terbesar terjadi pada beban pengeringan yang paling berat (5.3 kg) dan pada suhu lingkungan yang lebih rendah (T lingkungan 27 °C) yaitu sebesar 18.89 kJ/s. Suhu lingkungan yang rendah membutuhkan laju

- perpindahan kalor yang tinggi dan proses pengeringan yang lebih lama.
2. Mesin pengering pakaian dalam hal ini, lebih efisien bila digunakan untuk mengeringkan pakaian dalam jumlah yang banyak (mendekati kapasitas maksimum) dan pada suhu lingkungan yang tinggi. Hal ini terlihat dari efisiensi laju pengeringan tertinggi terjadi pada pengeringan dengan beban paling berat (5.3 kg) dan pada suhu lingkungan yang lebih tinggi (34 °C).
 3. Konveksi paksa mempengaruhi periode pengeringan pada suhu lingkungan yang tinggi, udara yang dihembuskan dari lingkungan akan meningkatkan suhu ruang pembakaran. Suhu ruang pembakaran yang meningkat membuat proses pengeringan lebih cepat.

4.2 Saran

Laju pengeringan yang disarankan berdasarkan hasil pengujian adalah laju pengeringan dengan beban 5.3 kg karena mengeringkan dalam jumlah yang lebih banyak lebih hemat energi dan waktu, tapi perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan beban maksimumnya.

5. DAFTAR PUSTAKA

- _____, _____. Manual Software CYTSoft Psychrometric.
- Chengel, Yunus A. 2007. *Heat Transfer, McGraw-Hill*, New York.
- Intang A., Nursiwan N.. 2017. Analisa eksergi sistem pompa panas penengring pakaian kapasitas 7 kg pada AC ¾ PK. Flywheel, Vol. 3, No. 1, hal. 10-20. Tersedia di <http://sinta2.ristekdikti.go.id/authors/detail?id=6012573&view=overview>
- Moran, M.J & Howard N. Shapiro, 2000, *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. John Wiley & Sons Inc. Chicester.
- Mujumdar, Arun S. 2006. *Handbook of Industrial Drying Third Edition*. CRC Press
- Suarnadwipa, N. & W. Hendra. 2008. *Pengeringan jamur dengan dehumifier*. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin CAKRAM. Vol 2. No 1. Juni 2008.