

ANALISA EFISIENSI ENERGI ALAT PENDINGIN *PORTABLE* DI SEPEDA MOTOR**Hengki^{1,4}, Mamat Rahmat², Setya Permana Sutisna³**¹Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin²Dosen Pembimbing Utama³Dosen Pembimbing Pendamping⁴*Laboratorium Sistem Kontrol Dan Nano Teknologi*
Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Dan Sains, Universitas Ibn Khaldun Bogor

Email : hengki.tl@gmail.com**ABSTRAK**

Alat pendingin *portable* adalah sebuah alat yang digunakan untuk menyimpan makanan atau minuman agar suhunya tetap dalam keadaan dingin. Alat pendingin *portable* ditempatkan di dalam *side box* sepeda motor, dimana fungsi umum dari *side box* tersebut adalah sebagai tempat untuk menyimpan barang. Digunakan sebagai tempat alat pendingin *portable*, *side box* tersebut dilengkapi dengan sistem pendingin dengan menggunakan termoelektrik (peltier) sebanyak dua elemen peltier sebagai sistem pendinginnya. Rancang bangun sistem pendingin bertujuan untuk meningkatkan fungsi sistem pendingin agar mencapai suhu sebesar 10°C – 15°C pada alat pendingin *portable* yang digunakan untuk mendinginkan kapasitas beban sebesar 1 liter dan ramah terhadap lingkungan ketika digunakan. Pada saat pengujian dengan kapasitas beban 3 botol air ukuran @330 ml telah dicapai suhu dalam ruang pendingin sebesar 19,53°C, dimana suhu lingkungan (ambient) sebesar 27,70°C. Dan suhu air yang didinginkan dimana botol satu (B1) yang dekat dengan coldsink bersuhu 20°C, botol dua (B2) bersuhu 22°C dan botol tiga (B3) bersuhu 23°C.

Keywords : Termoelektrik, Peltier, Alat Pendingin *Portable*

1. PENDAHULUAN

Sepeda motor adalah alat transportasi yang dapat digunakan untuk membantu aktivitas harian seperti berangkat kerja, mengantar ke sekolah, ke pasar dan bahkan dapat digunakan sebagai kendaraan untuk pergi berlibur ke tempat yang jauh sekalipun. Pada saat digunakan untuk berlibur, biasanya sang pengendara membawa perbekalan termasuk didalamnya makan dan minuman awet / tahan lama untuk dimakan yang disimpan di dalam box (kotak penyimpanan). Agar minuman yang dibawa oleh pengendara sepeda motor tersebut tahan lama dan tetap segar untuk diminum maka minuman tersebut harus tetap dalam keadaan dingin. Oleh sebab itu perlunya inovasi dari box tersebut.

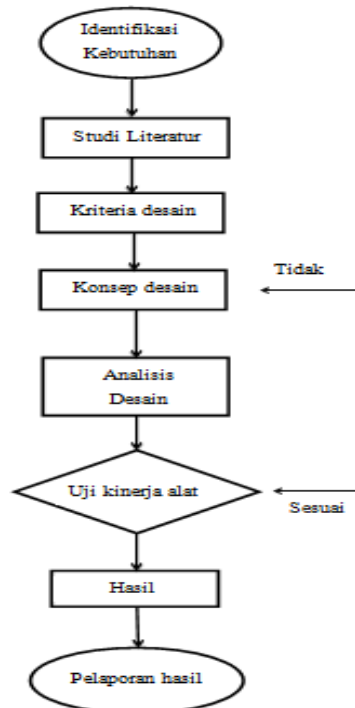
Inovasi pada box untuk menjaga minuman tetap dingin yaitu dengan cara menurunkan dan mempertahankan suhu air. Untuk menurunkan dan mempertahankan suhu air dapat ditanggulangi dengan mendesain alat pendingin yang bisa diletakkan di sepeda motor. Sistem pendingin yang dapat diaplikasikan adalah menggunakan pendingin termoelektrik. Efek termoelektrik adalah hubungan antara energi panas dan energi listrik yang terjadi pada titik temu antara dua jenis logam yang berbeda. Efek termoelektrik ini kini dikembangkan dalam suatu alat yang disebut elemen peltier.

“Prinsip kerja pendingin termoelektrik berdasarkan efek peltier yaitu ketika arus DC dialirkan ke elemen peltier yang terdiri dari beberapa pasang sel semikonduktor tipe p (semikonduktor yang mempunyai tingkat energi lebih rendah) dan tipe n (semikonduktor yang mempunyai tingkat energi lebih tinggi), akan mengakibatkan salah satu sisi elemen peltier menjadi dingin (kalor diserap). Sedangkan sisi yang lain akan menjadi panas (kalor dilepas). Sisi elemen peltier yang menjadi panas dan dingin tergantung dari arah aliran listrik yang melaluinya” Sugiyanto (2008).

Penelitian yang akan dilaksanakan mempunyai tujuan yaitu untuk mengetahui efisiensi hubungan antara kalor yang dilepaskan dengan daya listrik yang dibutuhkan dalam mencapai suhu $10^{\circ}\text{C} - 15^{\circ}\text{C}$ pada alat pendingin *portable* di sepeda motor.

2. METODE PENELITIAN

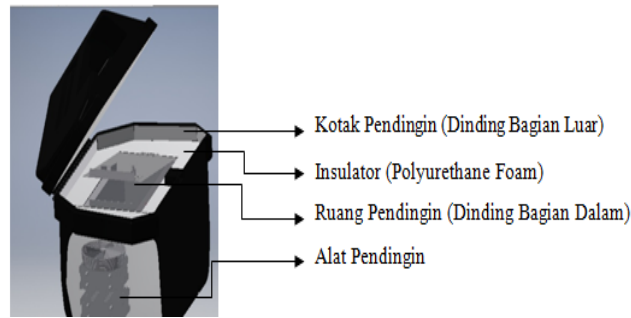
Tahapan pelaksanaan penelitian mengikuti diagram alir seperti pada Gambar 2.1 di bawah ini :



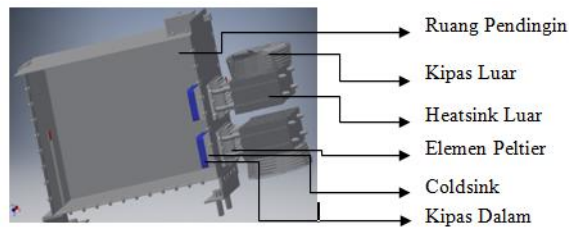
Gambar 1. Diagram alir

Tahapan Desain Alat Pendingin *Portable* Di Sepeda Motor

Tahap pertama adalah pembuatan alat pendingin *portable* menggunakan termoelektrik, yang mana alat pendingin tersebut disesuaikan bentuknya dengan kotak (*side box*) sepeda motor yang akan digunakan sebagai *case* atau tempat dimana alat pendingin tersebut akan diletakkan. Desain alat tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.2



Gambar 2. Rancangan kotak



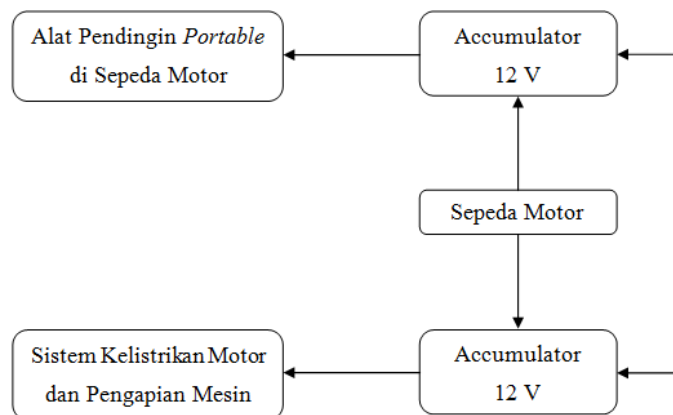
Gambar 3. Rancangan sistem pendingin

Rancangan sistem pendingin dimasukkan ke dalam kotak. Kotak tersebut sebagai *casing* yang terbuat dari bahan plastik pp (polypropylene) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 4. Rancangan kotak pendingin

Instalasi Pengujian



Gambar 5. Skema kelistrikan alat pendingin *portable* di sepeda motor

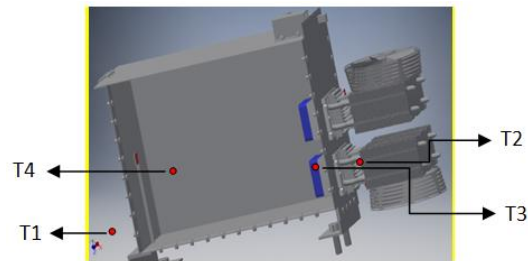
Pada Gambar 2.5 dapat dilihat skema pengujian alat pendingin *portable* di sepeda motor. Parameter utama pada pengujian ini adalah temperatur, dimana pada pengujian tersebut

terpasang 4 alat sensor uji yaitu sebuah *temperature sensor display* dan tiga buah sensor suhu LM35.

Langkah Pengambilan Data Temperatur

Variasi pengujian alat pendingin *portable* di sepeda motor ini dilakukan dengan berbagai bentuk pengujian yaitu pengujian tanpa beban (ruang pendingin kosong) dan ruang pendingin dengan beban berupa air dalam botol plastik yang berukuran @330 ml per botol.

Lama pengambilan data pengujian adalah 120 menit dari setiap pengujian dengan pencatatan pengambilan data temperatur tiap 2 menit. Langkah pengambilan data yaitu pengujian dilakukan selama 120 menit, setelah 120 menit ruang pendingin disamakan suhunya dengan suhu *ambient* (lingkungan luar), setelah suhu ruang pendingin sama dengan lingkungan luar maka pengujian selanjutnya dilakukan.



Gambar 6. Lokasi sensor-sensor pada saat pengujian

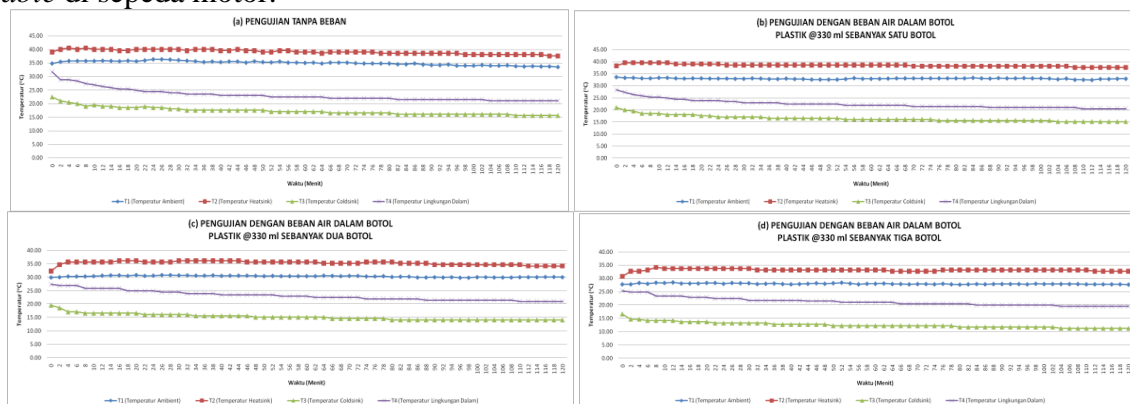
Pada Gambar 2.6 dapat diketahui bahwa Suhu T1 adalah temperatur *ambient* (lingkungan luar), T2 adalah temperatur pada heatsink, T3 adalah temperatur pada coldsink dan T4 adalah temperatur pada lingkungan dalam dari ruang pendingin pada alat pendingin *portable* di sepeda motor.

3. PEMBAHASAN

Hasil Dan Analisa Pengujian

Variasi waktu pengujian dilakukan pada siang hari, sore hingga malam hari selama 120 menit dari setiap pengujian. Antara pengujian satu dengan pengujian berikutnya diberikan jeda dengan menghentikan pelaksanaan pengujian dan membuka penutup ruang pendingin agar suhu didalam ruang pendingin sama dengan suhu lingkungan sekitar (*ambient*).

Dari tiap langkah pelaksanaan pengujian seperti yang telah dijelaskan, berikut adalah data-data dan analisa hasil pengujian alat pendingin *portable* di sepeda motor.



Gambar 7. Grafik hasil pengujian

Dari Gambar 3.1 diatas dapat dilihat kenaikan dan penurunan temperatur dengan berbagai variasi pengujian yaitu pengujian tanpa beban dan pengujian dengan beban air dalam botol. Pola kenaikan dan penurunan temperatur tersebut hampir sama pada setiap pengujian dimana pada pelaksanaan pengujian dilakukan pada waktu yang berbeda – beda dan dengan kondisi cuaca yang berbeda pula. Seperti pada pengujian tanpa beban dilakukan pada pukul 15:27 WIB dimana pada saat kondisi cuaca cerah, pada pengujian dengan beban botol berisi air satu botol dilakukan hari berikutnya pada siang hari pada pukul 13:38 WIB dengan kondisi cuaca cerah tetapi setelah pengujian berjalan selama 90 menit terjadi hujan, sedangkan pada pengujian dengan beban botol berisi air dua botol dan tiga botol dilakukan pada pukul 16:23 WIB dan pukul 19:33 WIB dengan kondisi cuaca hujan.

Dengan melihat waktu pencatatan dan dengan kondisi cuaca pada saat pengambilan data maka dapat dilihat bahwa suhu *ambient* (lingkungan luar) dapat mempengaruhi suhu didalam kotak pendingin. Apabila kondisi temperatur lingkungan luar (*ambient*) tinggi yaitu sekitar 33°C maka proses penurunan temperatur didalam ruang pendingin akan semakin lambat. Dan sebaliknya jika kondisi temperatur lingkungan luar (*ambient*) rendah yaitu sekitar 27°C maka proses penurunan temperatur / pendinginan di dalam ruang pendingin akan semakin cepat.

Setelah dilakukan pengujian dengan beban botol berisi air, maka dilakukan pengecekan temperatur air didalam botol sehingga diketahui temperatur air didalam botol tersebut. Untuk pengujian beban botol berisi air satu botol diperoleh temperatur 23°C pada saat diambil dari ruang pendingin. Pengujian dengan beban botol berisi air dua botol diperoleh temperatur dimana botol satu (B1) bersuhu 23°C dan botol dua (B2) bersuhu 24°C. Dan pengujian dengan beban botol berisi air tiga botol diperoleh temperatur dimana botol satu (B1) bersuhu 20°C, botol dua (B2) bersuhu 22°C dan botol tiga (B3) bersuhu 23°C.

Analisa Kalor Yang Hilang Dan Perhitungan

Perhitungan nilai kalor induksi pada sistem isolasi alat pendingin *portable* di sepeda motor dilakukan dengan asumsi sebagai berikut :

- Kondisi tunak (*steady state*).
- Kontak hambatan antara dinding diabaikan.
- Permukaan dalam dianggap adiabatik.
- Konduktivitas termal material tidak berubah menurut waktu pendinginan.
- Suhu lingkungan diambil nilai rata-rata yaitu 30°C

Perhitungan *Coefficient Of Performance* (COP)

.Perhitungan COP dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$COP = \frac{q_c}{P_{in}}$$

Dimana .

q_c = Beban kalor yang dipindahkan (W).

P_{in} = Daya input elemen peltier (W).

Data perhitungan COP untuk sistem pendingin alat pendingin *portable* di sepeda motor adalah sebagai berikut :

Daya input peltier : 72 W

Beban : 3 botol @330ml (990 ml)

Waktu : 120 menit (7200 detik)

$T_{\text{lingkungan dalam akhir}} : 19,53^{\circ}\text{C} = 292,53 \text{ K}$

$T_{\text{lingkungan dalam awal}} : 25,39^{\circ}\text{C} = 298,39 \text{ K}$

$T_{\text{lingkungan}} : 30^{\circ}\text{C} = 303 \text{ K}$

$A_{\text{tutup}} : 0,0159 \text{ m}^2$

$A_{\text{ruang pendingin}} : 0,0156 \text{ m}^2$

$h_o : 25 \text{ W/m}^2\text{K}$

$h_i : 25 \text{ W/m}^2\text{K}$

Keterangan :

A : Luas

h_o : Koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian luar ($\text{W/m}^2\text{K}$)

h_i : Koefisien perpindahan kalor konveksi pada bagian dalam ($\text{W/m}^2\text{K}$)

Perhitungan Beban Transmisi (q_{trans})

Beban transmisi terjadi karena adanya perpindahan kalor secara konduksi dan konveksi melalui bagian dinding ruang pendingin dan tutup ruang pendingin tersebut. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan seperti yang sudah dijelaskan pada persamaan berikut :

$$q = U A \Delta T$$

Dimana :

q: Beban kalor konduksi dari dinding (W)

U: Koefisien perpindahan panas total ($\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$)

A: Luas penampang perpindahan panas (m^2)

ΔT :Perbedaan temperatur luar dengan temperatur dalam ($^{\circ}\text{C}$)

Koefisien perpindahan panas total (U) dari dinding ruang pendingin dan tutup dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 11 yaitu :

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{in}}} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \dots + \frac{\Delta x_n}{k_n} + \frac{1}{h_{\text{out}}}}$$

Dimana :

U : koefisien perpindahan panas total ($\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$),

h_{in} : koefisien konveksi dinding dalam ($\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$),

h_{out} : koefisien konveksi dinding luar ($\text{W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$),

k : konduktivitas thermal material ($\text{W/m }^{\circ}\text{C}$),

Δx : tebal dinding (m).

Perhitungan beban transmisi terbagi menjadi dua bagian, yaitu :

Tutup

Dimana :

h_{in} : $25 \text{ W/m}^2\text{K}$

h_{out} : $25 \text{ W/m}^2\text{K}$

k_1 (plastik pp (*polypropylene*)) : $0,2 \text{ W/mK}$

k_2 (stainless steel) : 16 W/mK

Δx_1 (plastik pp (*polypropylene*)) : $1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$

Δx_2 (stainless steel) : $0,8 \text{ mm} = 0,0008 \text{ m}$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{in}}} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{1}{h_{\text{out}}}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,001}{0,2} + \frac{0,0008}{16} + \frac{1}{25}} = 11,75 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{tutup}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\
 &= (11,75)(0,0159)(298,39-292,53) \\
 &= 1,094 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Ruang Pendingin

Dimana :

$$h_{\text{in}} : 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$h_{\text{out}} : 25 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$k_1 \text{ (plastik pp (polypropylene))} : 0,2 \text{ W/mK}$$

$$k_2 \text{ (polyurethane foam)} : 0,026 \text{ W/mK}$$

$$k_3 \text{ (stainless steel)} : 16 \text{ W/mK}$$

$$\Delta x_1 \text{ (plastik pp (polypropylene))} : 1 \text{ mm} = 0,001 \text{ m}$$

$$\Delta x_2 \text{ (polyurethane foam)} : 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m}$$

$$\Delta x_3 \text{ (stainless steel)} : 0,8 \text{ mm} = 0,0008 \text{ m}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_{\text{in}}} + \frac{\Delta x_1}{k_1} + \frac{\Delta x_2}{k_2} + \frac{\Delta x_3}{k_3} + \frac{1}{h_{\text{out}}}}$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{25} + \frac{0,001}{0,2} + \frac{0,03}{0,026} + \frac{0,0008}{16} + \frac{1}{25}} = 0,807 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\begin{aligned}
 q_{\text{ruang pendingin}} &= U \cdot A \cdot \Delta T \\
 &= (0,807)(0,0156)(298,39-292,53) \\
 &= 0,073 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Maka total beban kalor transmisi adalah :

$$\begin{aligned}
 q_{\text{trans}} &= q_{\text{tutup}} + q_{\text{ruang pendingin}} \\
 &= 1,094 \text{ W} + 0,073 \text{ W} \\
 &= 1,167 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Perhitungan Beban Pendinginan (q_{cooling})

Beban pendinginan dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Q = m C_p \Delta T$$

Dimana :

Q : Beban pendinginan (J)

m : Massa produk (kg)

C_p : Kalor jenis produk (J/kg K)

ΔT : Perubahan suhu produk (K)

Sedangkan untuk mengetahui perpindahan kalor dapat diketahui dengan persamaan berikut:

$$q = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = hA\Delta T$$

Dimana :

q : Laju kalor konveksi, dalam satuan Watt atau W (J/s)

ΔQ : Jumlah kalor yang dipindahkan dalam satuan Joule (J)

Δt : Waktu terjadi aliran kalor, dalam satuan sekon (s)

A : luas permukaan bidang yang tegak lurus terhadap arah aliran panas (m²),

ΔT : beda suhu antara permukaan dan fluida (°C),

h : koefisien perpindahan panas konveksi ($W/m^2\text{ }^\circ C$).
 Dengan durasi pengujian selama 120 menit (7200 s).

Air

$$3 \times @330 \text{ ml} = 990 \text{ ml} = 0,99 \text{ kg}$$

$$T_{\text{awal}} = 25^\circ C = 298 \text{ K}$$

$$T_{\text{akhir}} = 20^\circ C = 293 \text{ K}$$

$$Q = m C_p \Delta T = 0,99 \text{ kg} \cdot 4200 \text{ J/kg K} \cdot (298 - 293) \text{ K} = 20790 \text{ J}$$

$$q_{\text{air}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{20790 \text{ J}}{7200 \text{ s}} = 2,8875 \text{ W}$$

Ruang Pendingin (Stainless Steel)

$$m = 1,2 \text{ kg}$$

$$T_{\text{awal}} = 25,39^\circ C = 298,39 \text{ K}$$

$$T_{\text{akhir}} = 19,53^\circ C = 292,53 \text{ K}$$

$$Q = m C_p \Delta T = 1,2 \text{ kg} \cdot 500 \text{ J/kg K} \cdot (298,39 - 292,53) \text{ K} = 3516 \text{ J}$$

$$q_{\text{ruang pendingin}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{3516 \text{ J}}{7200 \text{ s}} = 0,4883 \text{ W}$$

Coldsink

$$m = 0,113 \text{ kg}$$

$$T_{\text{awal}} = 16,60^\circ C = 289,60 \text{ K}$$

$$T_{\text{akhir}} = 11,23^\circ C = 284,23 \text{ K}$$

$$Q = m C_p \Delta T = 0,113 \text{ kg} \cdot 900 \text{ J/kg K} \cdot (289,60 - 284,23) \text{ K} = 546,129 \text{ J}$$

$$q_{\text{coldsink}} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = \frac{546,129 \text{ J}}{7200 \text{ s}} = 0,0758 \text{ W}$$

$$q_{\text{cooling}} = q_{\text{air}} + q_{\text{ruang pendingin}} + q_{\text{coldsink}}$$

$$= 2,8875 \text{ W} + 0,4883 \text{ W} + 0,0758 \text{ W}$$

$$= 3,4516 \text{ W}$$

Perhitungan Beban Keseluruhan (q_c)

$$q_c = q_{\text{trans}} + q_{\text{cooling}}$$

$$= 1,167 \text{ W} + 3,4516 \text{ W}$$

$$= 4,6186 \text{ W}$$

$$= 4,62 \text{ W}$$

Nilai COP

$$COP = \frac{q_c}{P_{\text{in}}}$$

$$COP = 4,62 \text{ W} / 72 \text{ W} = 0,0642$$

Nilai Effisiensi (η)

$$\eta = \frac{q_c}{P_{\text{in}}} \times 100\%$$

$$\eta = \frac{4,62 \text{ W}}{72 \text{ W}} \times 100\%$$

$$\eta = 6,42 \%$$

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Adapun kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pada saat dilakukan pengujian selama 120 menit pada tiap pengujian, maka diperoleh hasil temperatur lingkungan dalam pada alat pendingin *portable* di sepeda motor yang diantaranya pengujian tanpa beban menghasilkan temperatur sebesar 21°C, pengujian dengan beban air satu botol menghasilkan temperatur sebesar 20,51°C, pengujian dengan beban air dua botol menghasilkan temperatur sebesar 21°C dan pengujian dengan beban air tiga botol menghasilkan temperatur sebesar 19,53°C.
2. Setelah dilakukan pengujian dengan beban botol berisi air, maka dapat diketahui temperatur air didalam botol tersebut. Untuk pengujian beban botol berisi air satu botol diperoleh temperatur 23°C pada saat diambil dari ruang pendingin. Pengujian dengan beban botol berisi air dua botol diperoleh temperatur dimana botol satu (B1) bersuhu 23°C dan botol dua (B2) bersuhu 24°C. Dan pengujian dengan beban botol berisi air tiga botol diperoleh temperatur dimana botol satu (B1) bersuhu 20°C, botol dua (B2) bersuhu 22°C dan botol tiga (B3) bersuhu 23°C.
3. Nilai COP yang dicapai alat pendingin *portable* di sepeda motor sebesar 0,0642 W dan efisiensi sebesar 6,42% pada pengujian dengan beban air tiga botol pada botol ukuran 330ml.
4. Suhu *ambient* (lingkungan luar) dapat mempengaruhi suhu didalam kotak pendingin. Apabila kondisi temperatur lingkungan luar (*ambient*) tinggi maka proses penurunan temperatur didalam ruang pendingin akan lambat. Dan sebaliknya jika kondisi temperatur lingkungan luar (*ambient*) rendah maka proses penurunan temperatur / pendinginan di dalam ruang pendingin akan cepat.

Saran

Setelah melakukan proses pembuatan, pengujian dan analisa pada alat pendingin *portable* di sepeda motor ini, masih terdapat beberapa kekurangan yang nanti dapat dilengkapi oleh perancang selanjutnya untuk disempurnakan. Adapun beberapa saran yang dapat diperhatikan adalah :

1. Menambahkan *cover* (pelindung) heatsink agar tidak mudah terbentur oleh benda lain.
2. Menggunakan peltier yang lebih berkualitas agar kinerja alat pendingin dapat meningkat.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Departemen Teknik Mesin Industri Fakultas Vokasi Institut. 2017. Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Sugiyanto. 2008. Pengembangan Peti insulasi Sepeda Motor Berbasis Termoelektrik dan *Heat Pipe* [skripsi]. Jakarta(ID): Universitas Indonesia.
- Mansur. 2010. Pengembangan Peti Insulasi Tipe CB-02 Multifungsi Ramah Lingkungan Berbasis Termoelektrik untuk Kendaraan Roda Dua [skripsi]. Jakarta (ID) : Universitas Indonesia.

- Chein R, Chen Y. 2005. *Performances of Thermoelectric Cooler Integrated with Microchannel Heatsinks*. *International Journal of Refrigeration*. 28 (2005) : 828–839.
- Harsono Prasetyo. 2015. Analisis Pengaruh Luasan *Heatsink* Terhadap Unjuk kerja *Portable Mini Refrigerator* [Skripsi]. Universitas Jember.
- R.S. Khurmi J.K. Gupta. 2005. *Machine Design*. Eurasia Publishing House (PVT.) LTD. Ram Nagar. New Delhi, 110-055.
- D.H. Septa. 2012. Rancang Bangun Sistem Pengukur Efisiensi Sel Peltier Berbasis Mikrokontroler.pdf. Depok: Universitas Indonesia.
- <http://trikueni-desain-sistem.blogspot.com/2014/03/Pengertian-Resistance-Temperature-Detector.html>
- <http://kl801.ilearning.me/2015/05/21/penjelasan-tentang-lm35/>