

PERANCANGAN SISTEM PENDINGIN UDARA MOBIL LISTRIK MENGGUNAKAN *THERMOELECTRIC MODULE*

Daniel Chandra S.T.¹⁾, Fandi Dwi Suprianto S.T., MSc.²⁾

Jurusan Teknik Mesin Universitas Kristen Petra^{1,2)}
Jalan. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Indonesia ^{1,2)}
Phone: 0062-31-8439040, Fax: 0062-31-8417658^{1,2)}
E-mail : dnl.chndr@gmail.com¹⁾, fandi@peter.petra.ac.id²⁾

ABSTRAK

Dijaman sekarang ini, Isu Global Warming dan Penghematan energi menjadi topik yang sangat harus diperhatikan oleh para produsen barang khususnya didunia otomotif. Perubahan iklim dan suhu bumi yang disebabkan Global Warming menjadi ancaman bersama bagi penduduk bumi. Hal ini tercermin dari kegiatan – kegiatan manusia yang boros dengan energi dan penggunaan produk – produk yang mengandung CFC.

Dalam tugas akhir ini dilakukan perancangan sebuah sistem pendingin udara untuk mobil listrik yang tidak menggunakan sistem pendingin konvensional yang biasanya terdiri dari compressor, kondensor, katup ekspansi, evaporator melainkan digantikan dengan sebuah Thermoelectric yang memiliki bentuk yang lebih kecil dan tipis, serta tidak membutuhkan perawatan khusus.

Setelah dilakukan pengujian dan dibandingkan dengan sistem pendingin yang konvensional dan mendapatkan hasil kapasitas pendinginan yang hampir mendekati sistem konvensional, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan Thermoelectric pada AC mobil sebagai pengganti sistem pendingin mobil konvensional sangatlah mungkin untuk digunakan untuk kedepannya, khususnya pada mobil listrik yang memiliki suplai daya listrik yang besar.

Kata kunci: Thermoelectric, AC Mobil, Pendingin Mobil, Mobil Listrik.

1. Pendahuluan

Dijaman yang serba modern seperti sekarang ini, para produsen kendaraan bermotor berlomba – lomba menciptakan kendaraan yang memiliki efisiensi yang tinggi dan ramah terhadap lingkungan. Mulai dari meningkatkan efisiensi motor bakar, mengubah sistem karburator menjadi injeksi, mengubah diesel konvensional menjadi diesel yang menggunakan Common Rail, mengurangi beban pada mesin, menggabungkan motor bakar dengan motor listrik dengan teknologi *hybrid*, mengganti motor bakar menjadi motor listrik, hingga menerapkan *electric power steering*, *electric compressor*, *electric air conditioner* dan sebagainya.

Peltier Effect adalah peristiwa dimana adanya panas dari sambungan dua buah logam berbeda jenis ketika di aliri arus listrik. Ketika arus listrik dialirkan melalui persimpangan terdiri dari kedua jenis bahan logam A dan B, maka akan ada panas yang dihasilkan di bagian atas sambungan di T₂ (Heat Side), dan akan ada panas yang diserap di bagian bawah sambungan di T₁ (Cooling Side). Diberi nama *PELTIER* karena untuk menghormati fisikawan perancis yang bernama *Jean Charles Peltier*, yang menemukan itu di tahun 1834.

Dengan menggunakan *Thermoelectric Module*, maka sistem AC yang dibuat menjadi lebih kompak, ringan, perawatan mudah dan ramah lingkungan karena tidak menggunakan *refrigerant* sebagai zat pendinginnya, serta tidak membebani kerja mesin kendaraan karena tidak menggunakan *compressor*, serta

minim perawatan karena tidak ada mekanisme yang bergerak satu sama lainnya sehingga tidak ada komponen yang aus. Sistem AC yang menggunakan *Thermoelectric* ini juga bisa digunakan pada kendaraan listrik.

2. Metodologi Perencanaan



COP Thermoelectric

Untuk mencari nilai COP dari sebuah Thermoelectric, penulis melakukan pengujian menggunakan kalori meter. Thermoelectric yang akan dipakai dipasang pada 2 buah heatsink. Sisi heatsink yang menyerap panas dimasukkan kedalam sebuah wadah yang terisolasi dari lingkungan sekitar, wadah tersebut telah diisi dengan sejumlah air dengan massa tertentu. Heatsink tersebut dipastikan terendam seluruhnya dengan air. Sedangkan sisi heatsink yang melepas panas didinginkan menggunakan fan. Pengujian dilakukan dengan membatasi waktu dan mencatat perubahan suhu yang terjadi dalam sekian waktu yang telah ditentukan.

Thermoelectric yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Tegangan Input = 12 Volt
- Arus Listrik = 4.2 Ampere

Diketahui sebagai berikut :

- Massa Air = 0.25 Kg
- Suhu Awal = 30.2 °C
- Suhu Akhir = 19.4 °C
- Waktu = 10 Menit = 600 Detik
- C Air = 4200 J / Kg.K

$$q = \frac{m \cdot c \cdot \Delta T}{\Delta t}$$

$$= \frac{0.25 \text{ kg} \times 4200 \text{ J/kg} \times 10.8}{600 \text{ sec}}$$

$$= 18.9 \text{ J/s} = 18.9 \text{ watt}$$

$$COP = \frac{Q_{\text{max}}}{(V_{\text{max}} \cdot I_{\text{max}})}$$

$$= \frac{18.9 \text{ watt}}{50.28 \text{ watt}}$$

$$= 0.375$$

Dari hasil perhitungan COP diatas, dapat diketahui bahwa setiap keping Thermoelectric mempunyai COP sebesar = 0.375

Cooling Rate Thermoelectric untuk setiap kepingnya :

$$\text{Cooling Rate} = COP \cdot \text{input watt}$$

$$= 0.375 \cdot 50.28 \text{ watt}$$

$$= 18.9 \text{ watt}$$

Perhitungan Daya dan Jumlah Thermoelectric

Untuk mengetahui kemampuan pendinginan sistem AC mobil dengan sistem pendinginan konvensional, maka penulis melakukan perhitungan kebutuhan kapasitas pendingin sistem konvensional berdasarkan laju aliran udara pada box evaporator.

Penulis melakukan pengujian evaporator unit ini dengan menggunakan Anemometer sebagai instrument pengukuran laju aliran udara yang disebarkan oleh blower.

Dari hasil pengukuran unit heat exchanger dingin, didapatkan :

- D Lubang = 5.5 Cm
- R Lubang = 2.75 Cm

- Debit Udara = 11 m/s
- C Udara = 1.005 Kj / kg.K
- ρ Udara = 1.127 Kg / m³
- Suhu Awal = 30 °C = 303 K
- Suhu Akhir = 15 °C = 288 K

Perhitungan laju alir massa udara pada diffuser AC mobil :

$$m = \rho \cdot v \cdot A$$

$$= 1.127 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0.002375 \text{ m}^2$$

$$= 0.267 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\Delta T = T_1 - T_2$$

$$= 303 \text{ K} - 288 \text{ K}$$

$$= 15$$

$$\dot{Q} = m \cdot c \cdot \Delta T$$

$$= 0.267 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1.005 \frac{\text{Kj}}{\text{kg.K}} \times 15$$

$$= 0.402 \frac{\text{Kj}}{\text{s}} = 402 \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$= 402 \text{ watt}$$

$$N \text{ keping} = \frac{Q}{\text{cooling rate thermoelectric}}$$

$$= \frac{402 \text{ watt}}{18.9 \text{ watt}}$$

$$= 21 \text{ keping}$$

Untuk mencapai kapasitas pendinginan yang mendekati sistem AC konvensional, maka dalam perencanaan ini, saya menggunakan 20 keping thermoelectric yang nantinya akan di bagi jumlahnya pada kedua sisi heat exchanger dingin.

Sehingga akan didapat kapasitas pendinginan sebesar :

$$N \text{ keping} = \frac{Q}{\text{cooling rate thermoelectric}}$$

$$20 \text{ keping} = \frac{Q}{18.9 \text{ watt}}$$

$$Q = 20 \text{ keping} \cdot 18.9 \text{ watt}$$

$$= 378 \text{ watt}$$

Kebutuhan daya listrik

Thermoelectric bekerja bila ada arus listrik yang dialirkan kepadanya. Besar kemampuan kerja dari sebuah thermoelectric ditentukan dari besarnya daya yang disediakan. Semakin besar daya yang diberikan, semakin besar juga kemampuan pendinginan yang dihasilkan. Akan tetapi, thermoelectric ini memiliki batas maksimal tegangan yang diijinkan. Apa bila melebihi batasnya, thermoelectric ini bisa terbakar atau rusak.

Daya yang dibutuhkan untuk sebuah Thermoelectric adalah :

$$W = V \cdot I$$

$$= 12 \text{ volt} \cdot 4.19 \text{ amp}$$

$$= 50.28 \text{ watt}$$

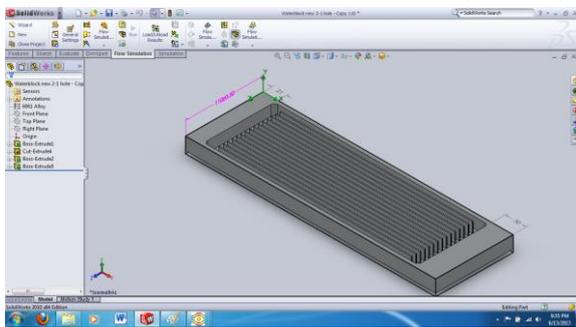
Daya listrik yang dibutuhkan sebuah Thermoelectric sebesar 50.28 watt, sehingga jika digunakan 20 keping Thermoelectric, maka :

$$\begin{aligned} \text{Daya Total} &= 50.28 \text{ watt} \times 20 \text{ keping} \\ &= 1005.6 \text{ watt} \end{aligned}$$

Design Waterblock Pendingin

Bahan waterblock terbuat dari sebuah solid aluminium seri 6061 alloy. Bahan tersebut dibentuk dengan menggunakan mesin CNC Milling.

Sementara untuk sisi atas dari waterblock ditutup dengan bahan acrilik yang transparan setebal 8 mm. Pada acrilik tersebut dipasangkan fitting selang yang bertujuan sebagai jalur air pendingin.



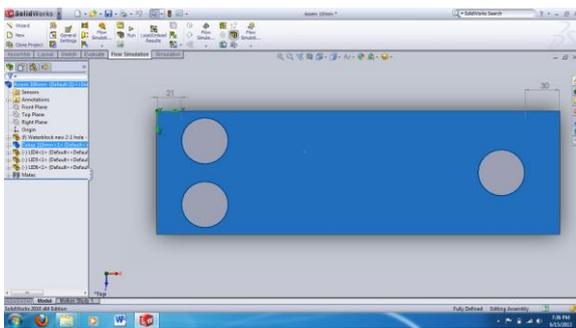
Gambar 1. Design Waterblock

Beberapa Parameter yang penulis tentukan sebagai dasar pengaturan sebelum melakukan simulasi terhadap design waterblock, antara lain :

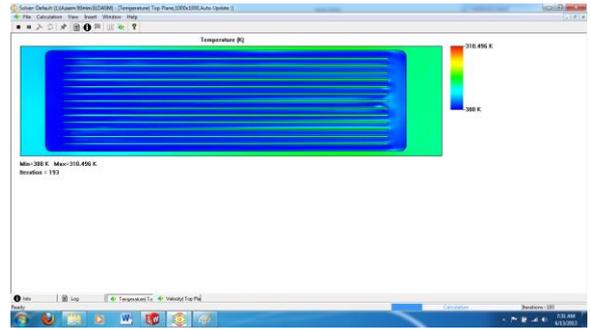
- Material : Alluminium 6061 Alloy
- Suhu Air : 30 °C = 303 K
- Debit Air : 80 liter / menit = 0.00133 m³/s
- Tekanan Outlet : 1 atm = 101325 Pa
- Surface Heat : 800 Watt

Hasil dari rancangan waterbock ini dikatakan berhasil, apabila waterblock dapat memindahkan panas dari thermoelectric ke air sebanyak mungkin atau suhu pada waterblock antara 30 °C – 40 °C atau 303 K – 313 K dan penyebaran pendinginan merata.

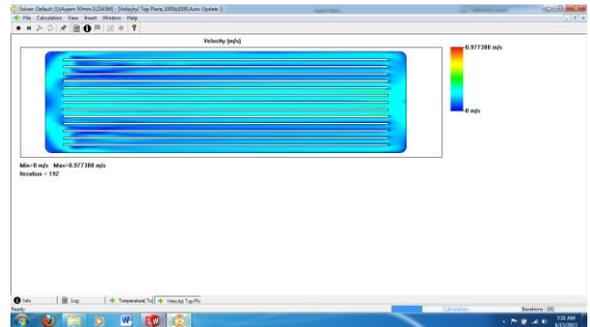
Pada design ini, terdapat 2 saluran air masuk dan 1 saluran air keluar, tujuannya agar terjadi pemerataan aliran air pendingin didalam waterblock.



Gambar 2. Design Waterblock



Gambar 3. Hasil Simulasi untuk Temperatur



Gambar 4. Hasil Simulasi untuk Kecepatan Alir

Hasil simulasi waterblock :

Dengan design waterblock seperti ini, hasilnya suhu pada waterblock lebih merata. Panas yang dipindahkan dari waterblock ke air pendingin lebih banyak sehingga suhu waterblock tetap stabil. Terlihat dari temperatur maksimal pada waterblock sebesar 310 K. Hal ini terjadi karena air pendingin alirannya merata tersebar pada seluruh bagian waterblock. Dengan meratanya aliran air pendingin didalam waterblock, panas yang dipindahkan ke air pendingin lebih besar. Karena design seperti ini memiliki hasil yang lebih baik, maka dipilihlah design ini untuk waterblock dalam perencanaan Tugas Akhir ini.

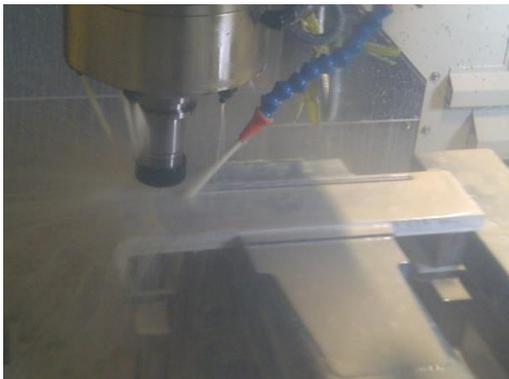
Pembuatan Komponen Waterblock

Untuk memproses menjadi waterblock yang siap digunakan, waterblock ini dibuat dengan menggunakan mesin CNC Milling. Pada bagian atas waterblock, ditutup dengan menggunakan kaca acrilik dengan ketebalan 8mm. Pada kaca acrilik ini, diberi lubang sebagai tempat pemasangan fitting selang ukuran 3/4 inch dan 1/2 inch. Kedua fitting selang itu nantinya akan digunakan sebagai jalur masuk keluarnya air pendingin.

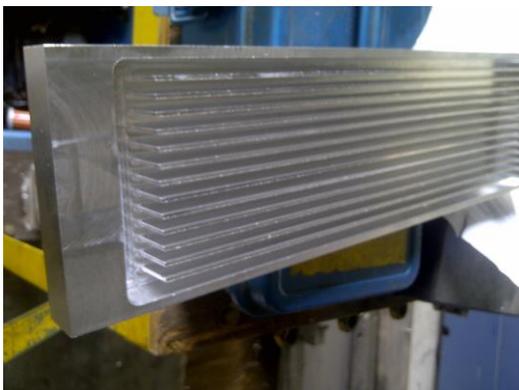
Untuk mencegah kebocoran antara waterblock dan kaca acrilik, fitting – fitting selang, digunakan perapat yang berbentuk silicon sealant yang bersifat elastis, tidak mudah rusak, tahan terhadap bahan kimia, dan memiliki ketahanan panas hingga 250°C. Kedua waterblock ini nantinya akan digunakan sebagai pendingin sisi panas Thermoelectric. Nantinya waterblock ini akan dialiri air pendingin sebagai media perpindahan panas yang kemudian panasnya akan dilepas ke udara bebas menggunakan radiator.



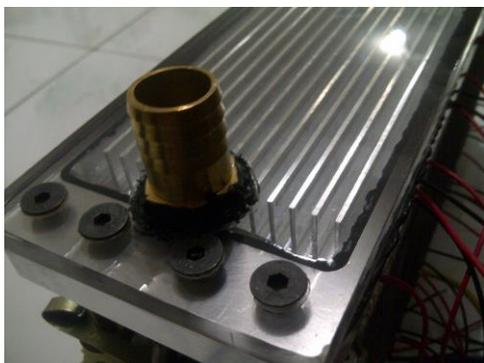
Gambar 5. Material Aluminium Seri 6061



Gambar 6. Proses CNC Milling



Gambar 7. Hasil Proses Manufaktur Waterblock



Gambar 8. Waterblock Yang Sudah Ditutup Dengan Acrilic

Modifikasi Evaporator Box

Penulis melakukan sedikit modifikasi pada evaporator box agar waterblock yang telah didesign

dapat digunakan sebagai pendingin thermoelectric dapat dipasangkan pada evaporator box. Modifikasi dilakukan dengan cara memotong bagian atas dan bawah evaporator box sesuai dengan ukuran waterblock.



Gambar 9. Evaporator Box

Radiator

Pada radiator, penulis menggunakan kondensor lama yang diubah penggunaannya. Kondensor yang ada tidak mengalami perubahan apa – apa dari kondisi standarnya. Hanya saja nantinya air pendingin yang akan mengalir didalamnya. Extra fan pada radiator tetap digunakan untuk membantu pendinginan radiator.

Pompa Air

Pompa air digunakan juga dalam proyek ini untuk mensirkulasikan air pendingin dari reservoir menuju sistem. Sistem ini memerlukan pompa yang memiliki debit aliran minimal 20 l/menit dengan daya dorong yang jauh. Sebuah pompa air merk RESUN digunakan dalam proyek ini karena memiliki debit aliran sebesar 4800 l/jam atau 80 l/menit dengan kekuatan dorong hingga 4.5 meter.

Sistem Kelistrikan

Thermoelectric tidak dapat berfungsi apabila tidak ada arus listrik yang diberikan pada kedua terminalnya. Sistem kelistrikan diatur sedemikian sehingga dapat membagi arus yang menuju thermoelectric dan perangkat – perangkat lainnya. Jika tidak diatur sistem kelistrikannya, maka akan terjadi penumpukan arus listrik di sebuah titik yang berakibat timbulnya panas.

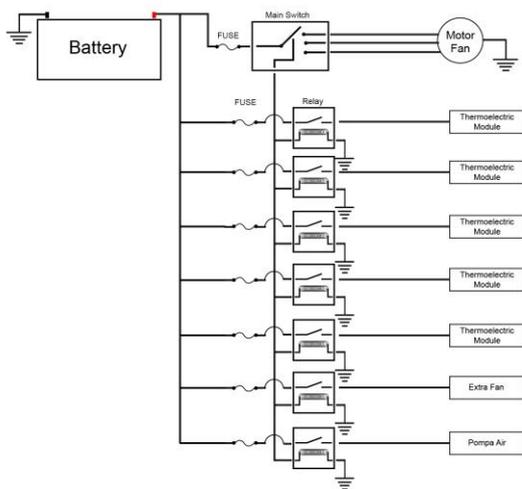


Diagram Kelistrikan Perancangan Sistem Pendingin AC Mobil Listrik menggunakan Thermoelectric Module

Gambar 10. Skema Kelistrikan

Aki / Battery

Aki / Battery ini digunakan sebagai sumber penyedia suplai daya listrik bagi sistem AC mobil menggunakan thermoelectric ini. Aki yang digunakan dalam Tugas Akhir ini berjenis aki basah dengan kapasitas sebesar 150Ah.

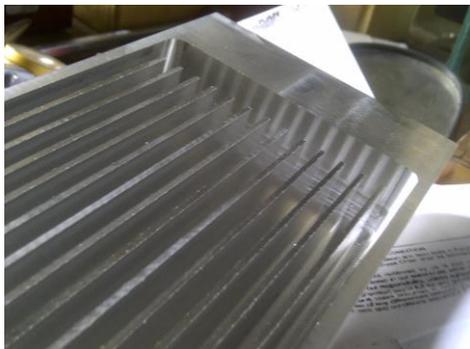
Relay

Relay yang digunakan untuk mengatur listrik menuju beban thermoelectric adalah relay merk Omron jenis MY4N, dimana relay ini memiliki 4 input dan memiliki 4 output dengan maksimal arus yang diijinkan sebesar 5A pada setiap terminalnya.

Proses Perencanaan

Pada bagian ini akan di jelaskan tentang proses – proses pengerjaan dan perakitan sistem AC yang baru berikut proses – proses nya :

1. Melakukan seleksi terhadap thermoelectric yang akan digunakan dalam tugas akhir ini.
2. Melakukan modifikasi pada heat exchanger dingin unit agar waterblock bisa dipasang.
3. Melakukan proses manufaktur waterblock sesuai design dan ukuran yang telah dirancang.



Gambar 11. Waterblock Aluminium

4. Melakukan proses manufaktur tutup acrylic dan melakukan pemasangan fitting selang.

5. Menyatukan waterblock dengan tutup acrylic dengan diberi sealant sebagai perapatnya agar air tidak bocor.
6. Melapisi permukaan heat exchanger dingin dengan silicon grease agar perpindahan panas dari heat exchanger dingin menuju thermoelectric tidak ada hambatan.
7. Meletakkan thermoelectric diatas permukaan heat exchanger dingin yang telah dilapisi dengan silicon grease. Masing – masing 10 keping thermoelectric pada setiap sisi heat exchanger dingin. Pada sisi thermoelectric yang kontak dengan permukaan waterblock juga dilapisi dengan silicon grease agar panas dapat disalurkan sempurna menuju waterblock.
8. Memasang waterblock pada heat exchanger dingin.
9. Memasang heat exchanger dingin yang sudah dirakit kedalam evaporator box.



Gambar 12. Heat exchanger dingin yang sudah dirakit

10. Memasang evaporator unit pada kendaraan.
11. Memasang dan merangkai sistem dan semua perlengkapan air pendingin pada kendaraan.
12. Memasang dan merangkai semua hubungan kabel, fuse / sekering, relay, dll dari baterai hingga thermoelectric.

3. Hasil Dan Pembahasan

Dari hasil pengujian terhadap hasil perancangan sistem AC menggunakan thermoelectric dengan cara mengukur suhu pada diffuser AC, didapatkan hasil sebagai berikut :

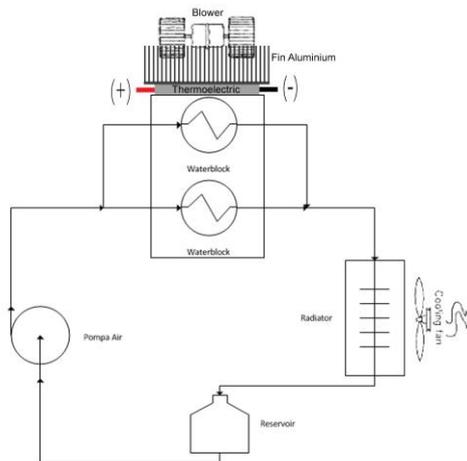
- Suhu Awal = 31 °C = 304 K
- Suhu Akhir = 18 °C = 291 K
- Waktu = 4 menit = 240 detik

Sebagai acuan standar perhitungan pada unit heat exchanger dingin :

- D Lubang = 5.5 Cm
- R Lubang = 2.75 Cm
- Debit Udara = 11 m/s
- C Udara = 1.005 Kj / kg.K
- ρ Udara = 1.127 Kg / m³

Perhitungan laju alir massa udara pada diffuser AC mobil :

$$\begin{aligned}
 \dot{m} &= \rho v A \\
 &= 1.127 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot 0.002375 \text{m}^3 \\
 &= 0.267 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \\
 \Delta T &= T_1 - T_2 \\
 &= 304 \text{ K} - 291 \text{ K} \\
 &= 13 \\
 \dot{Q} &= \dot{m} c \Delta T \\
 &= 0.267 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \times 1.005 \frac{\text{Kj}}{\text{kg.K}} \times 13 \\
 &= 0.348 \frac{\text{Kj}}{\text{s}} = 348 \frac{\text{J}}{\text{s}} \\
 &= 348 \text{ watt}
 \end{aligned}$$



Gambar 13. Arah Sirkulasi Air Pendingin pada Sistem AC Thermoelectric

4. Kesimpulan

Penggunaan Thermoelectric Module sebagai pengganti sistem pendingin konvensional pada saat ini sangatlah memungkinkan diaplikasikan pada sistem AC mobil khususnya pada mobil listrik yang memiliki daya listrik yang besar. Penggunaan Thermoelectric sebagai pengganti sistem AC konvensional sangatlah tidak membebani kinerja mesin mobil dibandingkan dengan penggunaan kompresor standard membebani kinerja mesin hingga 1,5 HP. Sehingga penggunaan sistem AC konvensional akan berdampak pada bertambahnya konsumsi bahan bakar karena beban mesin bertambah. Selain itu, penggunaan hasil rancangan ini sangat menghemat berat kendaraan hingga 20 - 35 kg dan juga sangat ramah lingkungan karena tidak menggunakan refrigerant.

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan, penggunaan thermoelectric pada sistem AC mobil ini sudah hampir mendekati dengan sistem AC konvensional yang masih menggunakan kompresor. Hal itu dilihat dari kemampuan sistem AC thermoelectric ini untuk mencapai perbedaan suhu udara yang keluar dari diffuser

AC dari 31°C turun menjadi 18°C. Berdasarkan perhitungan dari data pengujian, didapat bahwa kemampuan sistem AC mobil dengan menggunakan thermoelectric ini sebesar 348 Watt, jika dibandingkan dengan sistem konvensional yang sebesar 403 Watt, sistem AC mobil yang menggunakan thermoelectric lebih rendah 55 Watt. Namun kemampuan pendinginan yang didapat dari menggunakan sistem AC dengan thermoelectric ini ternyata lebih kecil dibandingkan sistem konvensional. Hal ini disebabkan karena keterbatasan suplai daya listrik sehingga penulis membatasi hanya menggunakan 20 keping thermoelectric dan juga keterbatasan untuk mendapatkan thermoelectric yang memiliki nilai efisiensi dan kapasitas pendinginan yang lebih besar sehingga penulis menggunakan thermoelectric yang mudah didapatkan dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Daftar Pustaka

1. Brich, Tom dan Martin Duvic. 2012. *Automotive Heating and Air Conditioning*. Edisi 6. Pearson Education, Inc., publishing
2. Arora, C. P. 1984. *Refrigeration and Air Conditioning*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited
3. Wark, Kenneth. 1983. *Thermodynamics*. Edisi 4. McGraw-Hill Book Company.
4. Goswami, D. Yogi. 2008. *Energy Conveersion*. CRC Press Taylor & Francis Group
5. Zemansky, Mark W. 1981. *Heat and Thermodynamics*. Edisi 6. McGraw-Hill International
6. Anderson, John D. 1995. *Computational Fluid Dynamics*. McGraw-Hill Book Company.
7. Holman, J.P. 1980. *Thermodynamics*. Edisi 3. McGraw-Hill Book Company.
8. Arismunandar, Wiranto, and Heizo Saito. *Penyegaran Udara*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 1986.
9. Drs. Daryanto. *Dasar – Dasar Kelistrikan Otomotif*. Jakarta: Prestasi Pustaka Publisher, 2011.
10. Mikheyev, M. *Fundamentals of Heat Transfer*. Moscow: Peace Publishers, 1977.
11. *Modul Pelatihan Untuk Teknisi Bengkel AC Mobil*. Jakarta: Kementrian Lingkungan Hidup, 2006.
12. "Water Block". *Wikipedia, Ensiklopedia Bebas.*, 2 Maret 2013. Wikimedia Foundation, Inc. <https://en.wikipedia.org/wiki/Water_block>
13. "Radiator". *Wikipedia, Ensiklopedia Bebas.*, 22 Juni 2013. Wikimedia Foundation, Inc. <<https://en.wikipedia.org/wiki/Radiator>>
14. http://www.engineeringtoolbox.com/air-properties-d_156.html