

Kajian awal analisis kalor buang kondensor pendingin ruangan sebagai sumber energi listrik alternatif

Sri Poernomo Sari^{1)*}, Trivani Achirudin²⁾, Irdiyansyah³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Gunadarma, Jakarta

Abstrak

Cadangan minyak bumi semakin menipis seiring dengan peningkatan konsumsi sumber energi fosil. Sumber energi listrik alternatif yang baru sangat dibutuhkan untuk mengatasi hal tersebut. Penggunaan peralatan pendingin ruangan (Air Conditioning) yang semakin meningkat akan menimbulkan dampak pemanasan global. Panas yang dikeluarkan oleh kondensor pendingin ruangan akan terbuang dan bersatu dengan udara lepas tetapi belum dimanfaatkan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis daya yang dihasilkan oleh kalor buang kondensor pendingin ruangan untuk dikonversikan menjadi energi listrik dengan bantuan generator termoelektrik (TEG). Energi kalor dikonversikan menjadi energi listrik dengan bantuan generator termoelektrik. Pendingin ruangan kapasitas 1 HP (0.747KW). Ducting dari bahan plat aluminium dibentuk silinder dengan diameter 355 mm, panjang 100 mm, ketebalan 1.2 mm digunakan untuk menyalurkan udara panas dari kondensor. Penampung kalor buang kondensor dari bahan plat aluminium dengan konduktivitas termal 205 J/s.m.°C dan tembaga 385 J/s.m. °C. dihubungkan dengan menempelkan sisi panas generator termoelektrik sedangkan heatsink dan fan dipasang untuk bagian sisi dingin termoelektrik. Pengujian pertama dilakukan dengan ducting tanpa insulasi, kedua menggunakan insulasi dari bahan glasswool dengan ketebalan 2 mm dan 12 mm. Pengujian pada ducting tanpa insulasi dan dengan insulasi untuk penampung plat aluminium dihasilkan temperatur kalor buang 35°C. Plat tembaga dihasilkan temperatur 35°C tanpa insulasi, 38°C insulasi 2 mm dan 38.9°C untuk insulasi 12 mm. Daya maksimal untuk bahan aluminium dan tembaga adalah 0.0192 dan 0.0216 Watt. Kemudian pada ducting dengan insulasi glasswool 2 mm dihasilkan daya maksimal 0.0248 dan 0.0242 Watt. Pada ducting dengan insulasi glasswool 12 mm dihasilkan daya maksimal 0.0390 dan 0.0330 Watt. Temperatur kalor buang dari bahan aluminium lebih rendah daripada tembaga. Semakin tebal bahan insulasi peredam panas semakin besar daya yang dihasilkan. Daya yang dihasilkan dari kalor buang dengan bahan aluminium lebih besar daripada tembaga.

Kata Kunci : Pendingin Ruangan, Kondensor, Kalor, Energi Listrik, Generator Termoelektrik

Abstract

Dwindling petroleum reserves in line with the increase in the consumption of fossil energy sources. Source of electrical energy badly needed new alternative to overcome it. The use of air-conditioning equipment (Air Conditioning) to growing impacts of global warming. Heat released by the condenser air conditioner will be wasted and unite with the air separated but not yet utilized. The purpose of this study was to analyze the power generated by the air conditioning condenser waste heat to be converted into electrical energy with the aid of a thermoelectric generator (TEG). Heat energy is converted into electrical energy with the aid of a thermoelectric generator. Air conditioning capacity of 1 HP (0.747KW). Ducting of the aluminum plate material shaped cylinder with a diameter of 355 mm, length 100 mm, thickness of 1.2 mm was used to channel hot air from the condenser. Container condenser waste heat from the aluminum plate material with a thermal conductivity of 205 J / B.C. ° C and copper 385 J / s.m. ° C. connected by gluing the hot side of the thermoelectric generator while the heatsink and fan mounted to the side of the thermoelectric cooler. First test was done with ducting without insulation, the use of materials glasswool insulation with a thickness of 2 mm and 12 mm. Tests on ducting without insulation and insulation for the container with aluminum plate produced waste heat temperature 35 ° C. Resulting copper plate temperature of 35 ° C without insulation, 38 ° C insulation 2 mm and 38.9 ° C for 12 mm insulation. Maximum power for aluminum and copper are 0.0192 and 0.0216 Watt. Then in glasswool insulation ducting with 2 mm maximum power generated 0.0248 and 0.0242 Watt. In ducting with 12 mm glasswool insulation maximum power generated 0.0390 and 0.0330 Watt. The temperature of the exhaust heat of aluminum is lower than that of copper. The thicker the heat-absorbing insulation material greater the power generated. The power generated from waste heat to the aluminum material is greater than that of copper.

Keywords: Air Conditioning, Condensers, Heat, Electrical Energy, Thermoelectric Generator

1. Pendahuluan

Semakin berkembangnya zaman potensi sumber daya alam yang ada dapat memenuhi kebutuhan hidup manusia, namun tidak selamanya dapat menggantungkan diri secara terus menerus, karena sumber daya alam yang tersedia di bumi sifatnya terbatas. Timbul upaya-upaya untuk menggunakan energi secara efisien dengan cara menghemat energi ataupun menggunakan kembali (mendaur ulang) energi yang telah digunakan sebelumnya. Efisiensi termal yang ada secara umum

masih berlangsung sangat rendah, selebihnya merupakan panas yang dibuang mengalir ke lingkungan. Pemanfaatan panas buang yang besar ke lingkungan ini dapat disalurkan kembali ke berbagai kebutuhan instrumen berdaya listrik.

Pada kehidupan sehari-hari penggunaan pendingin ruangan yang sangat besar dapat menghasilkan energi kalor dari kerja kondensor. Bila panas ini tidak dimanfaatkan maka akan terbuang ke atmosfer dan menjadi polusi termal. Panas yang tidak terpakai ini dapat diklasifikasikan menjadi 3 tingkat, yaitu tingkat tinggi, menengah dan rendah. Tingkat

*Korespondensi: Tel./Fax.: -

E-mail: sri_ps@staff.gunadarma.ac.id

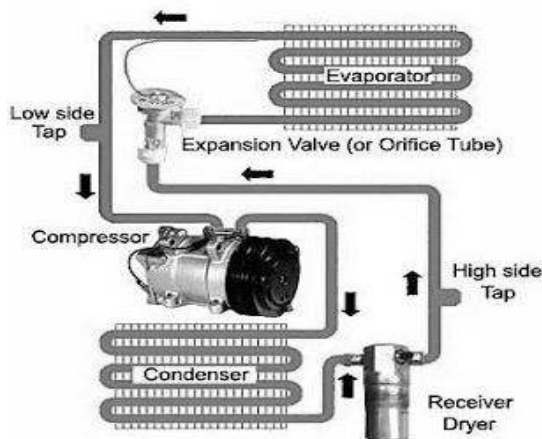
©Teknik Mesin Universitas Udayana 2016

tinggi berada pada kisaran temperatur 590°C dan 1650°C. Tingkat menengah berada pada kisaran temperatur 200°C dan 590°C dan untuk kisaran rendah berada pada kisaran temperatur 25°C dan 200°C. Panas hasil kerja kondensator berada pada kisaran temperatur rendah hingga menengah. Energi kalor yang terbuang dapat dimanfaatkan dengan mengkonversikan menjadi energi listrik berbantuan generator termoelektrik (TEG).

Fenomena perpindahan panas yang terjadi pada *ducting* kondensator dapat dianalisis sehingga dapat mengetahui besar nilai temperatur perpindahan panas yang terjadi. Peralatan pendukung pada penelitian ini adalah *ducting* dari bahan aluminium yang akan menyalurkan panas buang dari kondensator pendingin ruangan selanjutnya panas akan ditampung pada plat aluminium dan tembaga untuk dikonversikan menjadi energi listrik dengan bantuan generator termoelektrik. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis daya yang dihasilkan oleh kalor buang kondensator pendingin ruangan untuk dikonversikan menjadi energi listrik dengan bantuan generator termoelektrik (TEG).

2. Teori

Sistem refrigerasi yang umum pada aplikasi sehari-hari, baik untuk keperluan rumah tangga, komersial dan industri adalah sistem refrigerasi kompresi uap (*vapor compression refrigeration*). Pada sistem ini terdapat refrigeran (refrigerant), yakni suatu senyawa yang dapat berubah fase secara cepat dari uap ke cair dan sebaliknya. Pada saat terjadi perubahan fase dari cair ke uap, refrigeran akan mengambil kalor (panas) dari lingkungan. Sebaliknya, saat berubah fase dari uap ke cair, refrigeran akan membuang kalor (panas) ke lingkungan sekelilingnya. Pada prinsipnya sistem refrigerasi mekanik terdiri dari 4 fungsi yaitu kompresi, kondensasi, ekspansi dan evaporasi. Sesuai dengan fungsinya, maka komponen utama sistem refrigerasi mekanik terdiri dari kompresor, kondensator, katup ekspansi dan evaporator.



Gambar 1. Rangkaian Sistem Refrigerasi

Kompresor bekerja membuat perbedaan tekanan sehingga refrigeran dapat mengalir dari satu bagian ke bagian lainnya dari sistem. Perbedaan tekanan antara sisi tekanan tinggi dan sisi tekanan rendah menyebabkan refrigeran cair dapat mengalir

melalui alat pengatur refrigeran (alat ekspansi) ke evaporator. Tekanan uap di evaporator harus lebih tinggi dari pada tekanan uap dalam saluran hisap, agar uap dingin dari evaporator dapat mengalir melalui saluran isap kompresor.

Kondensator merupakan sebagai penukar kalor yang berfungsi untuk mengembunkan uap refrigeran yang mengalir dari kompresor. Untuk mengembunkan uap refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi (yang keluar dari kompresor) diperlukan usaha untuk melepaskan kalor sebanyak kalor laten pengembunan dengan cara mendinginkan uap refrigeran tersebut. Jumlah kalor yang dilepaskan pada kondensator sama dengan jumlah kalor yang diserap refrigeran di dalam evaporator ditambah kalor yang ekuivalen dengan energi yang diperlukan untuk melakukan kerja kompresi dalam kompresor.

Katup ekspansi dipergunakan untuk mengekspansi secara adiabatik cairan refrigeran yang bertekanan dan bertemperatur tinggi sampai mencapai tingkat keadaan tekanan dan temperatur rendah. Jadi melaksanakan proses ekspansi pada entalpi konstan. Selain itu katup ekspansi mengatur pemasukan refrigeran sesuai dengan beban pendinginan yang harus dilayani oleh evaporator. Pada mesin refrigerasi yang mempunyai kapasitas rendah, katup ekspansi tidak digunakan tetapi diganti dengan pipa kapiler.

Evaporator dalam sistem refrigerasi adalah memindahkan kalor dari zat-zat yang diinginkan ke refrigeran. Pada kondensator, panas dilepas atau dibuang oleh refrigeran ke media pendingin kondensator sedangkan di dalam evaporator kalor diserap oleh refrigeran dari media yang didinginkan. Didalam evaporator yang hampa udara, refrigeran akan menguap dan menyerap panas pada pipa-pipa yang berada pada evaporator sehingga pipa-pipa di evaporator menjadi dingin, dan membuang dinginnya dengan hembusan sebuah *fan* motor dengan daun kipas yang berbentuk *blower*.

Perpindahan kalor merupakan perpindahan energi dalam bentuk panas yang terjadi karena adanya perbedaan temperatur di antara benda atau material. Dalam proses perpindahan energi tersebut tentu ada kecepatan perpindahan panas yang terjadi, atau yang lebih dikenal dengan laju perpindahan panas. Ada tiga bentuk mekanisme perpindahan panas yang diketahui, yaitu konduksi, konveksi, dan radiasi. Perpindahan kalor secara konduksi adalah proses perpindahan kalor dimana kalor mengalir dari daerah yang bertemperatur tinggi ke daerah yang bertemperatur rendah dalam suatu medium (padat, cair atau gas) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung sehingga terjadi pertukaran energi dan momentum. Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan / aliran /pencampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua, yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut sebagai konveksi bebas (*free / natural convection*). Bila gerakan fluida disebabkan oleh gaya pemaksa / eksitasi dari luar, maka

perpindahan panas yang terjadi disebut sebagai konveksi paksa (*forced convection*). Perpindahan panas radiasi adalah proses di mana panas mengalir dari benda dengan temperatur tinggi ke benda dengan temperatur rendah bila benda-benda itu terpisah di dalam ruang, bahkan jika terdapat ruang hampa di antara benda - benda tersebut.

Prinsip kerja pembangkit *thermoelectric* (TEG) berdasarkan pada teori efek Seebeck yaitu jika 2 (dua) buah logam yang berbeda disambungkan salah satu ujungnya, kemudian diberikan temperatur berbeda pada sambungan, maka terjadi perbedaan tegangan pada ujung yang satu dengan ujung yang lainnya. Teknologi termoelektrik bekerja dengan mengkonversi energi panas menjadi listrik secara langsung (generator termoelektrik), atau sebaliknya dari listrik menghasilkan dingin (pendingin termoelektrik). Dari rangkaian itu dihasilkan sejumlah listrik sesuai dengan jenis bahan yang dipakai.

Prinsip efek *Seebeck* pada termoelektrik tersebut, dapat disimpulkan apabila batang logam dipanaskan dan didinginkan pada 2 kutub batang logam tersebut, elektron pada sisi panas logam akan bergerak aktif dan memiliki kecepatan aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan sisi dingin logam. Dengan kecepatan yang lebih tinggi, maka elektron dari sisi panas akan mengalami difusi ke sisi dingin dan menyebabkan timbulnya medan elektrik pada logam tersebut. Pembangkit termoelektrik (termoelektrik generator) mengubah energi termal pada elemen *peltier* yang ada pada termoelektrik, menjadi energi listrik. Dengan perbedaan temperatur antara sisi dingin dan sisi panas pada elemen termoelektrik, pada elemen ini akan mengalir arus sehingga terjadi perbedaan tegangan.

Aplikasi pembangkit termoelektrik digunakan secara luas, terutama dalam berbagai hal yang menggunakan sumber panas sebagai penghasil listrik. Kombinasi pendinginan dan pemanasan dengan adanya perbedaan temperatur yang membuat timbulnya daya listrik. Modul pembangkit termoelektrik mempunyai bentuk dasar dengan dua jenis, antara lain *linear shape module* (bisa dibentuk sesuai penempatannya) dengan biaya produksi yang lebih tinggi dan umumnya memerlukan pesanan dengan spesifikasi khusus dan *traditional square module* yang dijual secara umum dengan bentuk persegi.

Rangkaian Listrik adalah suatu susunan elemen yang mewakili suatu sistem elektrik, yaitu sistem yang memanfaatkan atau menimbulkan gejala-gejala yang berhubungan dengan listrik. Elemen itu mewakili sifat listrik benda-benda fisis seperti peralatan-peralatan listrik. Rangkaian listrik secara umum dibagi menjadi dua jenis, yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel. Analisis rangkaian hal yang akan dibahas adalah peralihan energi yang timbul sebagai akibat terdapatnya tegangan atau beda potensial listrik dan arus listrik pada rangkaian. Dengan adanya tegangan dan arus maka dalam rangkaian tersebut dapat diperoleh besarnya daya yang listrik. Dalam beberapa permasalahan, suatu rangkaian tidak selalu diketahui besarnya tegangan yang mengalir, oleh karena itu bila dalam suatu rangkaian diketahui besarnya hambatan dan arus listrik yang terdapat di dalam rangkaian,

maka dapat diperoleh tegangan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$P = V \times I \quad (1)$$

dengan P adalah daya listrik (Watt), V adalah tegangan listrik (Volt), I adalah arus listrik (Ampere) dan R adalah resistor/hambatan (Ohm).

$$V = I \times R \quad (2)$$

Ducting merupakan bahan atau material yang digunakan untuk mengarahkan atau menyalurkan udara atau lainnya ke arah tertentu. Lapisan dari insulasi ini antara lain *glasswool*, aluminium foil, *spindle pin*/pengikat/tali/*fliinkote*. Fungsinya untuk meminimalisir kebocoran udara baik dari dalam maupun udara dari luar masuk kedalam *ducting*. Biasanya untuk lapisan insulasi yang digunakan adalah *glasswool*.

3. Metode Penelitian

Pemanfaatan kalor buang kondensor dari pendingin ruangan (Air Conditioning) dikonversikan menjadi energi listrik dengan bantuan generator termoelektrik (TEG). *Ducting* dari bahan plat aluminium dibentuk silinder dengan diameter 355 mm, panjang 100 mm, ketebalan 1.2 mm digunakan untuk menyalurkan udara panas dari kondensor. Penampung kalor buang kondensor dari bahan plat aluminium dengan konduktivitas termal 205 J/s.m.°C dan tembaga 385 J/s.m. °C dihubungkan dengan menempelkan sisi panas generator termoelektrik. *Heatsink* dan *fan* dipasang untuk bagian sisi dingin generator termoelektrik.

Konversi energi panas menjadi energi listrik dengan bantuan generator termoelektrik (TEG) seri TEG12706. Pendingin ruangan yang digunakan adalah jenis AC split 1 HP (0.746 KW). Pada alat uji terdapat 3 buah termometer digital yang berguna untuk mengetahui temperatur awal *ducting*, temperatur ujung *ducting* pada penampung kalor buang kondensor dan temperatur *heatsink*. Pada alat uji ini dilapisi oleh bahan insulasi dengan jenis *glasswool* agar tidak terjadi panas atau kalor masuk dari luar, sehingga dapat difokuskan pada panas yang dihasilkan oleh kondensor. Pengujian pertama dilakukan dengan *ducting* tanpa insulasi, kedua menggunakan insulasi dari bahan *glasswool* dengan ketebalan 2 mm dan 12 mm.

Pada penelitian ini *ducting* digunakan untuk menyalurkan udara panas yang dibuang oleh kondensor pada sistem AC split. *Ducting* ini berfungsi untuk menyimpan udara panas yang akan dikonversikan atau diubah dari udara panas menjadi energi listrik dengan bantuan generator termoelektrik (TEG). Penggunaan bahan aluminium dan tembaga untuk penampung kalor buang kondensor karena merupakan konduktor yang baik.



(2.a)



(2.b)

Gambar 2. Ducting dan penampung kalor buang kondensor (a) bahan aluminium, (b) bahan tembaga



(3.a)



(3.b)

Gambar 3. Penampung kalor buang kondensor (a) bahan aluminium, (b) bahan tembaga

Kondensor adalah sebuah alat dalam sistem refrigerasi yang bertugas melepas panas dari refrigeran agar terjadi pengembunan. Dalam penelitian ini kondensor yang digunakan adalah kondensor AC split dengan kapasitas 1 HP (0.746 KW). *Heatsink* adalah logam dengan desain khusus yang terbuat dari aluminium atau tembaga (bisa merupakan kombinasi kedua material tersebut) yang berfungsi untuk memperluas transfer panas dari sebuah permukaan. Semakin luas permukaan perpindahan panas maka akan semakin cepat proses pendinginannya. Oleh karena itu penggunaan *heatsink* dalam penelitian ini berguna untuk mendinginkan sisi dingin dari termoelektrik agar terjadi perbedaan temperatur sehingga menimbulkan perbedaan potensial listrik. Kipas berguna untuk mendinginkan *heatsink* agar temperatur heatsink mendekati konstan atau stabil.

Gambar 4. *Heatsink* Aluminium

Bahan insulasi adalah suatu material atau bahan yang berguna untuk mencegah panas dapat merambat atau masuk kedalam material lain. Bahan isolator digunakan untuk melapisi *ducting* kondensor agar panas yang mengalir di dalam *ducting* tidak keluar dan panas lingkungan atau dari luar tidak masuk kedalam *ducting* kondensor. Sehingga temperatur di dalam *ducting* hanya berasal dari kerja kondensor. Jenis bahan insulasi yang digunakan dalam penelitian ini berjenis glasswool karena kalor buang dari kondensor menghasilkan temperature kurang dari 90°C.



Gambar 5. Bahan insulasi glasswool

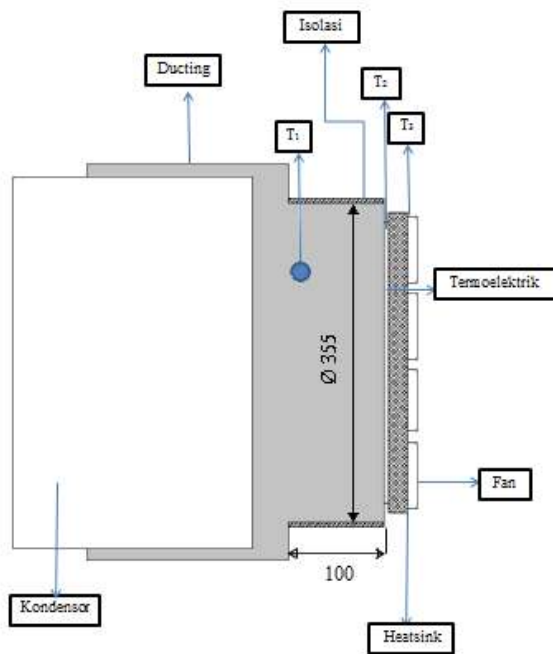
Tembaga adalah konduktor yang baik dalam perambatan panas atau perambatan listrik. Penggunaan kawat tembaga dalam penelitian ini berguna untuk menyambung termoelektrik pada *junction* terminal agar dapat membuat rangkaian listrik seri.

Termoelektrik mengkonversikan energi panas menjadi energi listrik secara langsung, atau sebaliknya dari energi listrik menjadi energi panas dan dingin. Prinsip kerja termoelektrik ini menggunakan prinsip efek *seebeck* yang artinya jika dua buah logam yang berbeda disambungkan pada salah satu ujungnya kemudian dipanaskan sehingga timbul perbedaan panas pada sambungannya maka akan terjadi perbedaan tegangan pada ujung satu dengan ujung yang lainnya. Pada *ducting* ini permukaan tutup silinder *ducting* akan terkena udara panas yang dibuang oleh kondensor yang berdampak terjadinya pemanasan pada permukaan tutup silinder tersebut, dan kemudian akan dimanfaatkan energi panas tersebut oleh termoelektrik yang akan diubah menjadi energi listrik.



Gambar 6. Generator Termoelektrik

Berikut adalah gambar eksperimental set up alat uji.



Gambar 7. Set-up Alat Uji

Keterangan

- T1 = Temperatur awal di dalam *ducting* (°C)
 T2 = Temperatur pada plat penampung kalor buang kondensor (°C)
 T3 = Temperatur *Heatsink* (°C)

Saat melakukan eksperimental alat uji, kondensor yang dipakai terus mengeluarkan udara

panas yang kemudian disimpan atau ditahan oleh *ducting*. Hal ini menyebabkan kondensor mati dalam lamanya waktu 5 - 10 menit ketika suhu panas sudah mencapai temperatur maksimal. Setelah di evaluasi, kondensor mati karena udara panas yang dikeluarkan dan ditahan tidak bisa keluar secara bebas, akan kembali lagi kedalam tabung kondensor dan membuat tabung outdoor dari sistem AC split ini mencapai temperatur panas yang maksimal, kemudian kondensor mati dengan tujuan agar temperatur pada tabung outdoor ini bisa kembali normal.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari pengujian temperatur dibedakan menjadi tiga jenis yaitu temperatur awal, temperatur penampung termoelektrik dan temperatur *heatsink*. Temperatur awal adalah temperatur yang diukur di dalam *ducting* pada posisi udara awal keluar dari kondensor. Temperatur pada plat penampung kalor buang kondensor adalah temperatur yang terdapat pada penampung termoelektrik yang didapat dari hasil perambatan panas melalui *ducting* kondensor, dan temperatur *heatsink* adalah temperatur pendingin dari sisi dingin termoelektrik. Data tegangan dan arus diukur dari setiap masing-masing termoelektrik sampai dibuat menjadi rangkaian listrik seri dari 14 buah termoelektrik. Pengambilan data temperatur ini berguna untuk mengetahui perbedaan temperatur dari T₂ dan T₃. Perbedaan temperatur dari T₂ dan T₃ adalah temperatur yang diterima oleh termoelektrik.

Pengamatan dilakukan ketika AC dihidupkan dan diatur dengan tingkat temperatur dingin ruang sebesar 16°C. Temperatur ruang dengan tingkat pengatur sebesar 16°C merupakan tingkat kerja kondensor yang paling tinggi, supaya kondensor bekerja maksimal. Pengamatan temperatur ini berguna untuk mengetahui perbedaan temperatur yang mencapai termoelektrik, sehingga diketahui perbedaan temperatur atau ΔT yang mempengaruhi termoelektrik untuk bekerja. Waktu pelaksanaan pengambilan data dilakukan pada waktu siang pukul 13.00 WIB.

Tabel 1. Temperatur *ducting* tanpa insulasi dan plat penampung kalor buang kondensor

| Bahan plat penampung | T1 (°C) | T2 (°C) | T3 (°C) |
|----------------------|---------|---------|---------|
| Aluminium | 60.0 | 49.0 | 35.0 |
| Tembaga | 61.0 | 51.0 | 35 |

Pada tabel 1 menunjukkan perbedaan temperatur kalor buang dari kondensor T₁ hingga mencapai plat penampung adalah 11°C untuk bahan aluminium dan 10°C untuk bahan tembaga. Perbedaan temperatur yang terjadi dari sisi panas termoelektrik T₂ dan sisi dingin T₃ yaitu sebesar 14 °C untuk bahan aluminium dan 16°C untuk bahan tembaga. Temperatur T₃ diperoleh menggunakan *heatsink* yang didinginkan menggunakan kipas. Besarnya perbedaan temperatur ini yang akan diterima oleh termoelektrik untuk dikonversikan menjadi energi listrik. Perbedaan temperatur menyebabkan perbedaan potensial didalam termoelektrik.

Tabel 2. Temperatur *ducting* dengan insulasi glasswool 2 mm dan plat penampung kalor buang kondensor

| Bahan plat penampung | T1 (°C) | T2 (°C) | T3 (°C) |
|----------------------|---------|---------|---------|
| Aluminium | 67.8 | 54.8 | 35.0 |
| Tembaga | 63.5 | 53.0 | 38.0 |

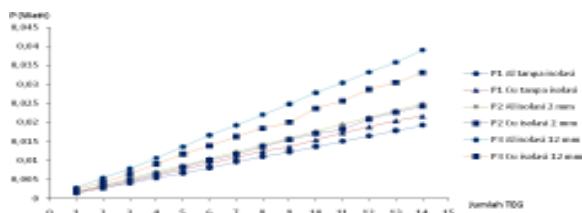
Pada tabel 2 menunjukkan perbedaan temperatur kalor buang dari kondensor T₁ hingga mencapai plat penampung adalah 13°C untuk bahan aluminium dan 10.5°C untuk bahan tembaga. Perbedaan temperatur yang terjadi dari sisi panas termoelektrik T₂ dan sisi dingin T₃ yaitu sebesar 19.8°C untuk bahan aluminium dan 15°C untuk bahan aluminium.

Tabel 3. Temperatur *ducting* dengan insulasi glasswool 12 mm dan plat penampung kalor buang kondensor

| Bahan plat penampung | T1 (°C) | T2 (°C) | T3 (°C) |
|----------------------|---------|---------|---------|
| Aluminium | 68.5 | 59.0 | 35.0 |
| Tembaga | 64.0 | 53.7 | 38.9 |

Pada tabel 3 menunjukkan perbedaan temperatur kalor buang dari kondensor T₁ hingga mencapai plat penampung adalah 9.5°C untuk bahan aluminium dan 10.3°C untuk bahan tembaga. Perbedaan temperatur yang terjadi dari sisi panas termoelektrik T₂ dan sisi dingin T₃ yaitu sebesar 24°C untuk bahan aluminium dan 14.8°C untuk bahan aluminium.

Gambar ini merupakan data daya yang didapat dari perubahan energi panas kondensor menjadi energi listrik.



Gambar 8. Grafik hubungan antara jumlah generator termoelektrik (TEG) dengan daya yang dihasilkan dari kalor buang kondensor P (Watt)

Keterangan

P₁ Al = Daya pada *ducting* tanpa insulasi dan penampung kalor buang kondensor bahan aluminium (Watt)

P₁ Cu = Daya pada *ducting* tanpa insulasi dan penampung kalor buang kondensor bahan tembaga (Watt)

P₂ Al = Daya pada *ducting* dengan insulasi glasswool 2 mm dan penampung kalor buang kondensor bahan aluminium (Watt)

P₂ Cu = Daya pada *ducting* dengan insulasi glasswool 2 mm dan penampung kalor buang kondensor bahan tembaga (Watt)

P₃ Al = Daya pada *ducting* dengan insulasi glasswool 12 mm dan penampung kalor buang kondensor bahan aluminium (Watt)

P₃ Cu = Daya pada *ducting* dengan insulasi glasswool 12 mm dan penampung kalor buang kondensor bahan tembaga (Watt)

4. Simpulan

- Udara panas yang dibuang atau dikeluarkan oleh kondensor menyebabkan perambatan panas pada *ducting* kondensor yang terbuat dari bahan aluminium mempunyai panjang 100 mm dan diameter silinder 355 mm dengan ketebalan 1.2 mm.
- Plat penampung kalor buang kondensor terbuat dari bahan aluminium dengan konduktivitas termal 205 J/s.m.°C dan bahan tembaga dengan konduktivitas termal 385 J/s.m.°C.
- Ducting* tanpa insulasi dan menggunakan insulasi *glasswool* yang mempunyai densitas 12-48 kg/m³ dapat menahan suhu hingga <150 °C tergantung dari ketebalan *glasswool* yang digunakan.
- Perbedaan temperatur yang terjadi pada *ducting* tanpa insulasi, dengan insulasi *glasswool* ketebalan 2 mm dan 12 mm sangat tinggi yaitu tanpa insulasi maksimal temperature udara panas pada T₁ (temperatur awal didalam *ducting*) sebesar 60.0°C dan T₂ (temperatur pada penampung kalor buang kondensor) dari bahan aluminium 49.0°C, dengan menggunakan insulasi *glasswool* 2 mm T₁ sebesar 67.8 °C dan T₂ sebesar 54.8 °C dan dengan insulasi *glasswool* 12 mm T₁ sebesar 68.5 °C dan T₂ sebesar 59.0 °C.
- Terdapatnya aliran arus listrik pada modul termoelektrik generator yang disebabkan oleh perbedaan temperatur udara panas antara T₂ dan T₃. Nilai dari T₃ merupakan nilai temperatur konstan pada *heatsink* aluminium yang dijaga menggunakan *fan* (kipas) yaitu berkisar 35 °C.
- Nilai daya maksimal yang didapat dari rangkaian seri pada termoelektrik pada *ducting* tanpa insulasi 0.0192 Watt, dengan insulasi *glasswool* 2 mm 0.0248 Watt dan insulasi *glasswool* 12 mm adalah 0.0390 Watt.
- Perbedaan temperatur yang terjadi pada *ducting* tanpa insulasi maksimal temperatur udara panas pada T₁ (temperatur awal didalam *ducting*) sebesar 61.0°C dan T₂ (temperatur pada penampung kalor buang kondensor) dari bahan tembaga 51.0°C, dengan menggunakan insulasi *glasswool* 2 mm T₁ sebesar 63.5 °C dan T₂ sebesar 53 °C dan dengan insulasi *glasswool* 12 mm T₁ sebesar 64.0 °C dan T₂ sebesar 53.7 °C. Nilai dari T₃ yaitu 38 °C.
- Nilai daya maksimal yang didapat dari rangkaian seri pada termoelektrik adalah tanpa insulasi sebesar 0.0216 Watt, dengan insulasi *glasswool* 2 mm sebesar 0.0242 Watt, dengan insulasi *glasswool* 12 mm adalah 0.0330 Watt.

Daftar Pustaka

- [1] Stocker. WR, 1987, *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara*, Jakarta, Penerbit Erlangga.
- [2] Kreith. Frank, Manglik. Raj, Mark Bohn2010, , *Principles of Heat Transfer*, Paris, Cengage Learning.
- [3] Sadik Kakaç, 1991, *Boilers, Evaporators, and Condensers*, Manchester, John Wiley & Sons.
- [4] CDX Automotive, 2013, *Fundamentals of Automotive Technology: Principles and Practice*, Burlington, Jones & Bartlett Publishers.
- [5] Ryanurgo, Syaiful Anwar dan Sri Poernomo Sari, 2013, *Generator Mini Dengan Prinsip Termoelektrik Dari Uap Panas Kondensor Pada Sistem Pendingin*. Jurnal Rekayasa Elektrika, Volume 10 Nomor 4, Hal 180-185, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.