

Kaji Eksperimental Kotak Pendingin Minuman Kaleng Dengan Termoelektrik Bersumber Dari Arus Dc Kendaraan Dalam Rangkaian Seri Dan Paralel

¹Irwin Bizzy, ²Rury Apriansyah

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Kampus Unsri Jalan Raya Palembang-Prabumulih Km 32 Indralaya,
Ogan Ilir, Sumatera Selatan, Kode Pos 30662
Email: irwin_bizzymt@yahoo.co.id

Abstrak

Pemanfaatan termoelektrik untuk mendinginkan dan menghasilkan listrik *DC* telah banyak digunakan saat ini. Penelitian pada bahan termoelektrik semakin ditingkatkan disebabkan dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik atau sebaliknya serta ramah lingkungan. Beberapa aplikasi telah pula dicoba, salah satunya berfungsi untuk mendinginkan minuman kaleng. Untuk itu, telah dilakukan penelitian untuk mendinginkan sebuah minuman kaleng kapasitas 330ml menggunakan peralatan kotak pendingin yang memanfaatkan *Efek Peltier*. Metodologi penelitian yang dipakai adalah eksperimen dengan merancang peralatan uji berupa sebuah kotak pendingin yang dipasang sistem termoelektrik dalam rangkaian seri dan paralel. Pengujian telah dilakukan dengan memanfaatkan arus DC pada kendaraan roda empat. Daya yang dibutuhkan sebesar 60 watt yang diambil dari batere kendaraan. Hasil yang didapat adalah temperatur pendinginan fluida antara 6 - 8°C selama lebih kurang dari 2 (dua) jam. Nilai unjuk kerja *COP* peralatan sebesar 0,856%. Pengujian ini hanya menghasilkan temperatur fluida yang rendah hanya untuk pendinginan minuman kaleng, belum mampu mencapai temperatur dibawah 0°C atau titik beku fluida dan rangkaian paralel yang digunakan lebih baik dibandingkan rangkaian seri. Temperatur ruang kendaraan sangat mempengaruhi kemampuan sistem termoelektrik dalam mendinginkan minuman kaleng tersebut.

Keywords: Termoelektrik, Efek peltier, COP, Kotak Pendingin, Listrik DC.

Pendahuluan

Penemuan penting pertama yang berkaitan dengan termoelektrisitas terjadi pada tahun 1821 ketika seorang fisikawan Jerman bernama Thomas Johan Seebeck menemukan fenomena dua material logam yang berbeda dihubungkan dalam suatu rangkaian tertutup dan kedua sambungan (*junction*) dipertahankan pada temperatur yang berbeda maka arus listrik akan mengalir dalam rangkaian tersebut. Kemudian pada tahun 1834, Jean Charles Athanase Peltier, ketika menyelidiki *Efek Seebeck*, menemukan bahwa ada suatu fenomena kebalikan dimana jika arus searah dialirkan pada suatu rangkaian tertutup yang terdiri dari sambungan dua material logam yang berbeda maka energi termal diserap pada satu sambungan logam dan melepasnya pada sambungan lainnya. Dua puluh tahun kemudian, William Thomson (lebih dikenal dengan Lord Kelvin) memberikan suatu penjelasan lengkap dari *Efek Seebeck* dan *Efek Peltier* serta menggambarkan hubungan timbal balik keduanya.

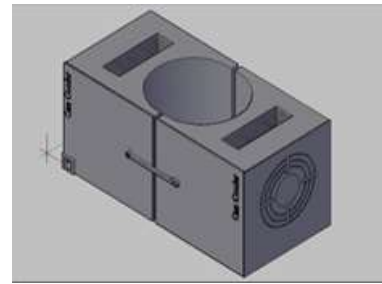
Saat itu, fenomena-fenomena tersebut hanya diketahui pada tingkat laboratorium, sedangkan aplikasi praktisnya baru dikembangkan setelah ditemukannya material semikonduktor yang baru. Aplikasi termoelektrik telah digunakan diberbagai bidang, tidak hanya sebagai peralatan pendingin tetapi juga sebagai pembangkit daya, sensor energi termal maupun digunakan pada bidang militer, ruang angkasa, instrumen, biologi, medikal, dan industri serta produk komersial lainnya. C.A. Gould (2011) meneliti pemanfaatan termoelektrik untuk mendinginkan rangkaian mikroelektronik dan panas sisa daya listriknya pada sebuah komputer. Kesulitan terbesar dalam pengembangan energi ini adalah mencari material termoelektrik yang memiliki efisiensi konversi energi yang tinggi. Idealnya, material termoelektrik memiliki konduktivitas listrik tinggi dan konduktivitas panas yang rendah. Namun kenyataannya sangat sulit mendapatkan material seperti ini, secara umum jika konduktivitas listrik suatu material tinggi, maka konduktivitas panasnya pun akan tinggi.

Walaupun demikian, menurut Zhi-Gang Chen (2012) bahwa teknologi material yang saat ini sedang berkembang pesat adalah kemampuan menyusun material dalam bentuk nano diharapkan dapat menghasilkan suatu material termoelektrik dengan efisiensi yang tinggi. Bukan saja efisiensi yang tinggi yang diperlukan, akan tetapi memiliki nilai ekonomi dan ramah lingkungan. Inge M. Sutjahja (2011) juga menyatakan bahwa bahan termoelektrik adalah bahan unik yang dapat mengkonversi energi panas menjadi energi listrik atau sebaliknya, tanpa menghasilkan gas beracun karbondioksida maupun polutan lainnya seperti logam berat atau ramah lingkungan. Banyak pula energi panas yang tidak berguna yang dihasilkan dari limbah industri maupun kegiatan antropogenik manusia, seperti kendaraan bermotor dan pemakaian peralatan pendingin atau AC (*Air Conditioning*) dengan bahan termoelektrik dapat dikonversikan menjadi energi listrik. Sedangkan menurut L.E. Bell (2008) bahwa arus yang diberikan ke peralatan termoelektrik tidak sama dalam penggunaannya, sebagian akan menghasilkan relatif efisiensi yang rendah untuk pemakaian di siklus-siklus mekanik dan pemakaian lainnya.

Sedangkan, Manoj S. Raut (2012) telah meneliti sebuah sistem *Heating Ventilating Air Conditioning* (HVAC) baru menggunakan termoelektrik pada kendaraan melalui perancangan sebuah sistem pendingin yang dipasang termoelektrik pada *blower* konvensional. Temperatur udara yang didinginkan mencapai $32 \div 25,8$ °C dan sistem dapat mempertahankan beda temperatur sebesar 7 °C sesuai target yang diinginkan.

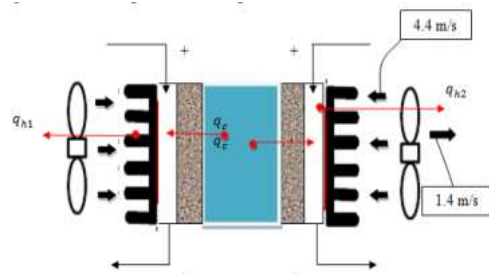
Metoda Eksperimen dan Fasilitas Yang Digunakan

Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen dengan merangkai sistem termoelektrik untuk mendinginkan (satu) minuman kaleng. Eksperimen ini bermula dari pengamatan tentang banyaknya kegunaan akan termoelektrik sebagai kebutuhan terkini untuk masa depan. Rangkaian sistem disederhanakan atau difokuskan mempelajari bagian-bagian yang menyangkut sistem termoelektrik kotak pendingin atau *cooler* (TEC). Hasil data penelitian yang didapat merupakan acuan untuk melakukan analisis pendinginan pada alat tersebut dengan bantuan persamaan energi dan persamaan yang terkait lainnya.



Gambar 1. Rancangan Kotak Pendingin

Dimensi peralatan kotak pendingin yang dirancang adalah 16 cm x 8 cm x 9 cm. Kapasitas fluida minuman kaleng yang didinginkan adalah 330 ml dan kotak pendingin terdiri dari beberapa komponen yaitu elemen Peltier, *heat sink*, Fan (DC), pelat aluminium, *lighter*, pemutus arus, penyerap kalor, rangkaian kabel, tombol *power*, dan sambungan *lighter*. Berikut skema komponen kotak pendingin yang dirancang:



Gambar 2. Skema Komponen Kotak Pendingin

Prinsip kerja komponen-komponen pada kotak pendingin adalah arus listrik DC dari kendaraan sebesar 12 volt dialirkan ke elemen Peltier yang akan mengubah listrik menjadi panas dan dingin di kedua sisi yg berbeda. Bagian sisi panas diletakkan *heat sink* berbahan aluminium dan permukaannya dihembuskan udara oleh sebuah fan dengan kecepatan udara rata-rata 4,4 m/s, sehingga terjadi perpindahan panas konveksi paksa dari permukaan *heat sink* ke udara. Sedangkan sisi dingin dari elemen Peltier diletakkan ke bagian kaleng yang berisi fluida minuman dan berfungsi mendinginkan fluida dalam kaleng.

Beberapa asumsi diperlukan dalam menganalisis sistem ini:

1. Sumber energi listrik DC berasal dari baterai kendaraan dengan asumsi tegangan sebesar 12 volt dalam keadaan stabil atau tidak berubah.
2. Peralatan pendingin (AC) ruang kendaraan dinyalakan terlebih dahulu sebelum menyalakan peralatan kotak pendingin dan variasi temperatur ruang kendaraan adalah $24 \div 30$ °C.

3. Pengujian dilakukan terhadap peralatan kotak pendingin selama 2 (dua) jam.
4. Pengujian dilakukan pada rangkaian seri dan paralel.
5. Sifat-sifat termoelektrik yang dipakai:

Sifat-Sifat	P	n
α (V/K)	170×10^{-6}	-190×10^{-6}
ρ (Ω .cm)	0,001	0,0008
k (W/cm.K)	0,02	0,02

Menurut Nolas (1998) bahwa *Efek Peltier* adalah kebalikan dari *Efek Seebeck*. Dua material A dan material B jika dialiri arus listrik akan menghasilkan bagian bertemperatur dingin:

$$Q_p = \alpha IT \quad (1)$$

Persamaan perpindahan panas konveksi:

$$Q_c = hA\Delta T \quad (2)$$

di mana :

- Q_c = perpindahan kalor konveksi
- h = koefisien perpindahan kalor
- A = luasan perpindahan panas
- ΔT = perbedaan temperatur

$$(R) = R_{\text{elemen}} + R_{\text{junction}} = 1,1 (\rho_p + \rho_n) (L/A) \quad (3)$$

di mana :

- R = Hambatan listrik
- L = Tinggi bidang sisi pada elemen peltier
- A = Luas penampang elemen peltier

$$(C) = (k_p + k_n) (A/L) \quad (4)$$

di mana :

- C = koefisien konduksi
- L = tinggi elemen Peltier
- A = luas elemen Peltier
- k_p, k_n = konduktifitas termal elemen Peltier (0,02)

$$(Z) = (\alpha_p - \alpha_n)^2 / RC \quad (5)$$

- Q_c = daya listrik
- N = *number of couples*
- Z = *figure of merit* dari elemen Peltier
- T_h = temperatur panas pada *heatsink*

T_c = temperatur dingin di fluida

$$I_{\text{opt}} = (\alpha_p - \alpha_n) T_c / R \quad (6)$$

di mana :

- I_{opt} = arus listrik optimal
- R = hambatan total

$$Q_h = N [(\alpha_p - \alpha_n) T_h \times I_{\text{opt}} - C (T_h - T_c) + I_{\text{opt}}^2 R/2] \quad (7)$$

di mana :

- Q_h = daya listrik
- N = *number of couples*

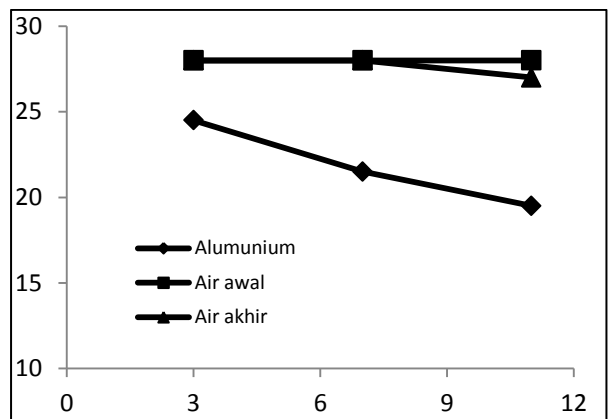
$$COP = Q_c / P_{\text{in}} \quad (8)$$

di mana :

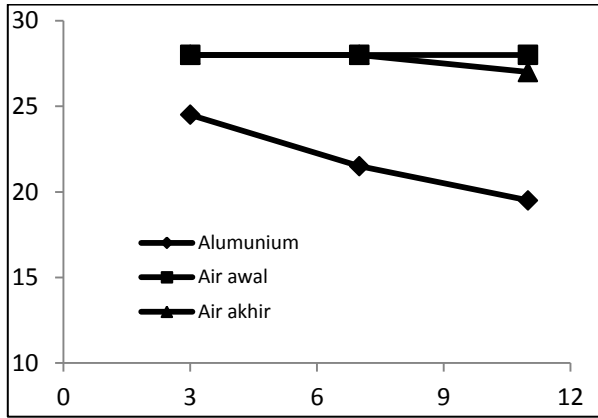
- Q_c = daya listrik
- P_{in} = daya yang masuk ke elemen Peltier

Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan terhadap peralatan kotak pendingin tanpa dan dinyalakan AC di ruang kendaraan serta rangkaian seri dan paralel. Berikut beberapa data hasil pengujian memakai kotak pendingin dalam rangkaian seri (Tes-Rs) dan paralel (Tes-Rp):



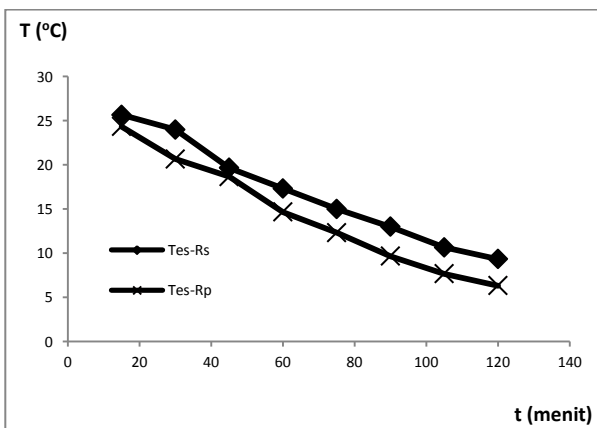
Gambar 3. Pengujian Kotak Pendingin untuk 11 menit (Seri)



Gambar 4. Pengujian Kotak Pendingin untuk 11 menit (Paralel)

Pengujian kotak pendingin selang waktu 3 (tiga) menit (gambar 3 dan 4) dengan kondisi temperatur awal fluida minuman kaleng 28 °C terlihat bahwa setelah peralatan dihubungkan dengan listrik DC terjadi penurunan temperatur fluida minuman kaleng dalam rangkaian seri dan paralel masing-masing 27 °C dan 25°C. Kondisi fluida minuman kaleng bertemperatur ini sudah cukup menyegarkan untuk siap diminum.

Selanjutnya, dilakukan pengujian kotak pendingin selama 120 menit (gambar 5) menunjukkan penurunan temperatur fluida dalam kaleng minuman terdata mencapai 9 °C (rangkaiian seri) dan 6 °C (rangkaiian paralel). Temperatur sekeliling kaleng pendingin atau temperatur ruang kendaraan sangat mempengaruhi penurunan temperatur fluida minuman kaleng, termasuk daya dan arus listrik yang dialirkan ke sistem (rangkaiian paralel lebih baik dibandingkan rangkaiian seri).



Gambar 5. Pengujian Kotak Pendingin 120 menit (Rangkaiian Seri dan Paralel)

Perhitungan unjuk kerja (COP) pendinginan termoelektrik pada minuman kaleng ini berdasarkan

data temperatur yang diambil saat pengujian dan dimensi elemen Peltier yang digunakan. Berikut data temperatur dan dimensi elemen Peltier yang dipakai dalam pengujian:

$$T_h = \text{Temperatur bagian panas rata-rata} \\ = \text{heatsink} = 46^\circ\text{C} + 273 = 319\text{K}$$

$$T_c = \text{Temperatur bagian dingin rata-rata} \\ \text{fluida} \\ = 16,83 + 272 = 289,83 \text{ (Seri)} \\ = 14^\circ\text{C} + 273 = 287\text{K (Paralel)}$$

$$L = \text{Tinggi elemen Peltier} = 4 \text{ cm}$$

$$A = \text{Luas elemen Peltier} = 2 \text{ cm}^2$$

Tahanan listrik (R):

$$(R) = R_{elemen} + R_{junction}$$

$$(R) = 1,1 (\rho_p + \rho_n) \left(\frac{L}{A}\right)$$

$$(R) = 1,1 (0,001 + 0,0008) \left(\frac{4}{2}\right)$$

$$(R) = 0,00396 \Omega$$

Koefisien konduksi (C):

$$(C) = (k_p + k_n)(A/L)$$

$$(C) = (0,02 + 0,02)(2/4) = 0,02 \text{ W/K}$$

Figure of merite(FOM), (Z):

$$(Z) = (\alpha_p - \alpha_n)^2 RC = 1,63 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$N \approx 84,38$ (number of couples)

Nilai arus optimal (I_{opt}):

$$I_{opt} = (\alpha_p - \alpha_n) T_c / R = 34,66 \text{ Ampere}$$

$$(Q_h) = N [(\alpha_p - \alpha_n) T_h \times I_{opt} - C(T_h - T_c) \\ + I_{opt}^2 R / 2]$$

$$(Q_h) = 130,02 \text{ Watt}$$

$$COP = Q_c / P_{in} = Q_c / Q_H - Q_c = 0,856$$

(paralel)

$$COP = Q_c/P_{in} = Q_c/Q_H - Q_c = 0,731$$

(seri)

Penelitian terhadap sistem termoelektrik (Tellurex: 2008) antara temperatur sisi panas dan dingin terhadap COP memperlihatkan nilai-nilai COP masih relatif rendah.

Kesimpulan

1. Temperatur fluida dalam kaleng minuman dapat diturunkan mencapai $6 \pm 9^\circ\text{C}$ dengan memakai efek Peltier, tetapi bergantung besaran daya dan arus listrik yang dialirkan, rangkaian (seri atau paralel) serta temperatur sekelilingnya atau ruang kendaraan.
2. Rangkaian paralel lebih baik dibandingkan rangkaian seri dikarenakan daya dan arus yang masuk ke kotak pendingin 1 dan 2 hampir sama besar, sehingga ΔT pada masing-masing kotak pendingin tersebut hampir sama. Demikian pula untuk nilai COP rangkaian paralel lebih besar dibandingkan rangkaian seri.
3. Upaya mempercepat laju pendinginan fluida minuman kaleng dapat dilakukan dengan cara menambah jumlah elemen Peltier yang digunakan.
4. Pengujian ini hanya menghasilkan temperatur fluida yang rendah hanya untuk pendinginan satu minuman kaleng, belum mampu mencapai temperatur dibawah 0°C atau titik beku fluida, dibutuhkan penelitian lebih lanjut.

Nomenklatur

COP	=	Coefficient of Performance
C	=	Koefisien konduksi (W/K)
I	=	Arus listrik (Ampere)
k	=	Konduktivitas termal (W/m. $^\circ\text{C}$)
N	=	Number of couples
P	=	Daya (Watt)
R	=	Tahanan listrik (Ω)
Q	=	perpindahan panas (Watt)
T	=	Temperatur ($^\circ\text{C}$)
V	=	Tegangan listrik (Volt)
Z	=	Figure of merite (FOM)

Referensi

C.A. Gould, N.Y.A. Shammass, S.Grainger, I. Taylor. *Thermoelectric cooling of microelectronic circuits and waste heat electrical power generation in a desktop personal computer*. Material Science and

Engineering: B. Volume 176, Issue 4, 15 March 2011, Pages 316-325 (2011).

Inge M. Sutjahja. *Penelitian Bahan Termoelektrik Bagi Aplikasi Konversi Energi di masa Mendatang*. Jurnal Material dan Energi Indonesia Vol.01, No.0, 58-70 (2011).

L.E. Bell. *Cooling, Heating, generating power, and recovering waste heat with thermoelectric systems*. Science (New York, NY) 321 1457-1461 (2008).

Manoj S. Raut. *Thermoelectric Air Cooling For Cars*. International Journal of Engineering Science and Technology Vol. 4 No.05 May (2012).

Morelli. *Handbook of Thermoelectrics*. London, Butterworths (1997).

Muhaimin. *Prinsip Kerja Termoelektrik*. Jurusan Fisika Fakultas MIPA Kediri: Universitas Brawijaya(1993).

Nolas G. S. *Kajian Semiconducting clathrates* Rowe . China : ICT, Beijing(1998).

Nolas G.S. *Kajian Semiconducting clathrates* Rowe . China : ICT, Beijing (2001).

Sharp JW, Poon S J, Goldsmid H J . *Boundary scattering of phonons and thermoelectric figure of merit* . Physica, London (2001).

Tellurex. *Thermoelectric Applications* . London : Warrendale PA(2008).

Zhi-Geng Chen, Guang Han, Lei Yang, Lina Cheng, Jin Zou. *Nanostructured Thermoelectric Materials: Current research and Future Challenge*. Natural Science: Materials International 22(6)535-549(2012).