

# APLIKASI MODUL PENDINGIN TERMoeLEKTRIK SEBAGAI MEDIA PENDINGIN KOTAK MINUMAN

Azridjal Aziz, Joko Subroto, Villager Silpana

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Jl. Subrantas Km 12,5, Simpang Baru Panam, Kampus Bina Widya, Pekanbaru, 28293.  
Phone: +062-761-7063975, Fax: +761-566786  
E-mail: azridjal@yahoo.com

## Abstrak

Kotak minuman dengan media pendingin termo elektrik (Thermo Electric Cooling/TEC) digunakan dalam penelitian ini untuk mengetahui temperatur pendinginan yang dapat dicapai untuk jumlah modul TEC yang berbeda (2 atau 3 modul TEC) dengan pengoperasian fan atau tanpa pengoperasian fan. Pengaruh pemakaian blok aluminium terhadap temperatur pendinginan juga diamati dalam penelitian ini. Pada penelitian ini digunakan kotak pendingin berkapasitas 34 L. Penggunaan 3 modul TEC dengan Fan dan blok aluminium memberikan pendinginan yang lebih baik setelah digunakan selama 150 menit, dengan temperatur kotak minuman mencapai  $14,3^{\circ}\text{C}$  tanpa beban pendingin dan  $16,4^{\circ}\text{C}$  dengan beban pendingin 1 liter air.

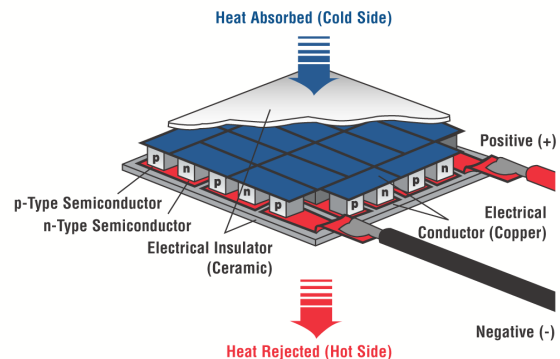
**Keywords :** “pendingin”, “termo elektrik”, “kotak minuman”, “modul”.

## 1. Pendahuluan

Efek termoelektrik merupakan proses konversi energi langsung akibat perbedaan temperatur atau setelah diberi tegangan listrik. Tegangan listrik akan dihasilkan oleh sebuah modul termoelektrik jika kedua sisi permukaan memiliki temperatur yang berbeda dan sebaliknya perbedaan temperatur akan dihasilkan jika modul termoelektrik diberikan tegangan listrik ([http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect)).

Sebuah modul termoelektrik terdiri dari dua pelat keramik dengan elemen-elemen dari bahan semikonduktor tipe P dan tipe N (paduan bismuth telluride) diantara kedua pelat. Gambar 1 menunjukkan sebuah modul TEC yang memindahkan kalor setelah diberi arus listrik (efek peltier). Kebanyakan modul TEC dibuat dari semikonduktor tipe P dan tipe N dengan jumlah yang sama dimana satu elemen tipe P dan satu elemen tipe N merupakan satu pasangan (*couple*) yang membentuk elemen termoelektrik (<https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric/thermalRef02>).

Ketika suatu arus listrik DC positif diberikan untuk elemen termal tipe N, elektron akan bergerak dari elemen termal tipe P ke elemen termal tipe N dan temperatur sisi yang dingin akan berkurang karena kalor di sisi tersebut diserap ( $Q_L$ ).

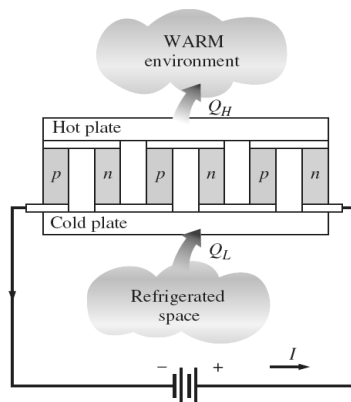


**Gambar 1. Diagram skematik sebuah modul TEC**  
([www.lairdtech.com](http://www.lairdtech.com))

Kalor ini kemudian ditransfer ke sisi panas dari pendingin, kalor tersebut diteruskan ke *heat sink* dan lingkungan sekitar ( $Q_H$ ) seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Penyerapan kalor tersebut (pendinginan) adalah sebanding dengan arus listrik dan banyaknya kopel termoelektrik atau daya listrik yang

diberikan ( $P_{in}$ ) sehingga balans energinya adalah  $Q_H = Q_L + P_{in}$ .

Penggunaan modul TEC untuk pendingin minuman kaleng 330 ml, telah dilakukan oleh Irwin Bizzy dan Rury Apriansyah, 2013. Pada penelitian tersebut digunakan rangkaian seri dengan capaian temperatur 6 °C dan 9 °C dengan rangkaian paralel untuk pendinginan selama 120 menit. Marleni dkk., 2014 menggunakan dua elemen peltier untuk menjaga temperatur vaksin yang disimpan dalam wadah berbahan PVC. Temperatur vaksin dapat dijaga pada temperatur 3-8 °C selama 45 menit. Temperatur wadah vaksin mampu mencapai 0°C setelah pengujian selama 150 menit.

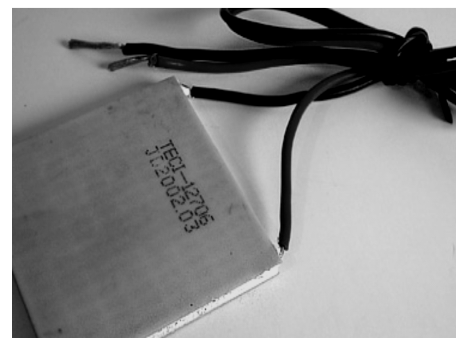


**Gambar 2. Skematik sebuah *thermo-electric refrigerator***  
(Cengal dan Boles, 2011)

Penelitian yang menggunakan modul TEC sebagai pendingin sebuah kabinet kecil telah dilakukan oleh R. Umboh dkk., menggunakan elemen peltier. Moin Ahmad S. Shaikh dan M.K. Chopra, 2014, mereview penggunaan *thermoelectric refrigerator* yang telah dilakukan oleh berbagai peneliti untuk meningkatkan kinerja pendinginan (coefficient of performance /COP) pada beberapa perangkat pendingin elektrik. S.B. Riffat dan Xialoi Ma, 2003, 2004, S.B., Dongliang Zhao dan Gang Tan, 2014, telah

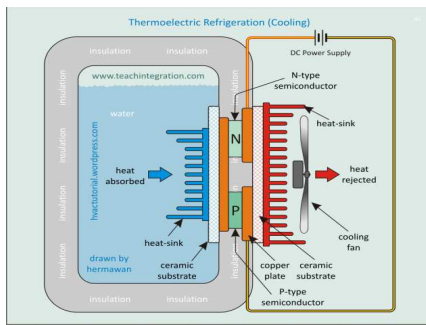
me-review potensi penggunaan modul TEC, bahan dasar TEC, pemodelan dan aplikasinya untuk kebutuhan pendinginan skala kecil. Ronggui dkk, 2005, S. Filippeschi, E. Latrofa dan G. Salvadori, 2006, P.Y. Hou dkk., 2009, Matthew M. Barry dkk., 2014, telah meneliti aplikasi TEC untuk peralatan kecil, mini refrigerator, penggunaan *heat sink*, aplikasi *hotspot cooling* dan kinerja TEC yang terintegrasi dengan penukar kalor.

Pada penelitian ini dikembangkan sebuah kotak pendingin minuman menggunakan modul TEC. Modul TEC yang digunakan berjumlah 3 buah yaitu modul tipe **TEC1-12706** (Gambar 3). TEC1-12706 berukuran 40x40x3,8 mm dengan berat 27gram, dengan  $I_{max}$  6,4 A,  $U_{max}$  14,9V,  $R = 1,98$  ohm, 127 couples dengan  $\Delta T_{max} = 68^{\circ}C$ ,  $Q_{max}$  ( $\Delta T=0$ ) 53,0W. *Box cooler* kapasitas 34 liter dimodifikasi menjadi mini refrigerator dengan menggunakan modul TEC .

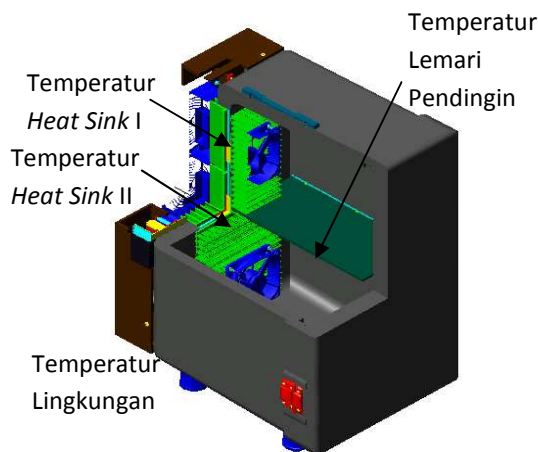


**Gambar 3. Tipe modul TEC yang digunakan**

Penyerapan kalor pada sisi dingin dan kalor yang dibuang pada sisi panas menggunakan *heat sink* yang digabungkan dengan fan pendingin untuk mempercepat proses penyerapan atau pembuangan kalor (konveksi paksa). Sketsa siklus pendingin ditunjukkan pada Gambar 4, dan gambar potongan 3D kotak pendingin yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 5.



**Gambar 4. Sketsa siklus pendingin pada sebuah kotak pendingin termoelektrik**  
(<https://hvactutorial.wordpress.com/refrigeration-system/special-refrigeration-system/thermoelectric-refrigeration-system/>)



**Gambar 5. Gambar potongan 3D Kotak pendingin minuman dengan modul TEC**

## 2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dikembangkan sebuah kotak pendingin minuman dari sebuah *box cooler* berkapasitas 34 liter, menggunakan dua atau tiga buah modul TEC dengan atau tanpa blok aluminium, yang didinginkan menggunakan *heat sink* dan *fan cooler*. Penelitian dilakukan secara ekperimental untuk mengetahui temperatur pendinginan yang dapat dicapai dengan memvariasikan penggunaan jumlah modul TEC, penggunaan fan cooler, dan penggunaan blok aluminium.

## 3. Hasil dan Pembahasan

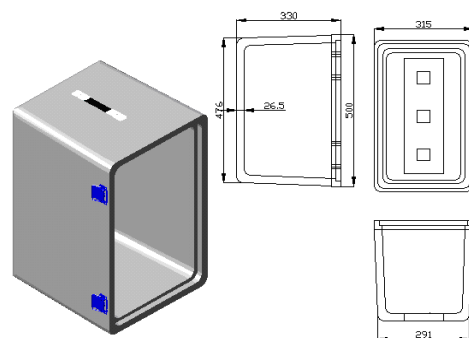
### 3.1. Beban Kalor

Beban kalor pada kotak pendingin dengan TEC adalah beban kalor aktif yaitu kalor yang dapat diserap oleh modul TEC dan beban kalor pasif yaitu beban kalor dari kotak pendingin, termasuk bahan yang didinginkan dalam kotak pendingin.

Modul TEC tipe TEC1-2706 seperti ditunjukkan pada Gambar 3, memiliki spesifikasi sebagai berikut: tegangan listrik maksimum 15,4V, arus listrik maksimum 6A dan tahanan 1.98 ohm ([http://peltiermodules.com/peltier.datasheet/Peltier\\_Modules.pdf](http://peltiermodules.com/peltier.datasheet/Peltier_Modules.pdf)). Beban kalor aktif maksimum (persamaan 1) diperoleh sebesar 120W permodul, sehingga untuk tiga modul maksimum 360W.

$$Q_{\text{Aktif}} = V^2/R \quad (1)$$

Beban kalor pasif berasal dari beban radiasi, beban konveksi dan beban konduksi dari kotak pendingin serta beban dari bahan yang didinginkan. Luas penampang dari kotak minuman seperti tampak pada Gambar 6, masing-masing untuk bidang kiri, bidang kanan, bidang atas, bidang bawah, bidang depan dan belakang berturut-turut adalah 0,1m<sup>2</sup>, 0,1m<sup>2</sup>, 0,165 m<sup>2</sup>, 0,165 m<sup>2</sup>, 016 m<sup>2</sup>, dan 0,14 m<sup>2</sup> (total 0,83 m<sup>2</sup>).



**Gambar 6. Penampang kotak minuman**

Beban radiasi diperoleh dari persamaan 2, dimana:  $F$ ,  $e$ ,  $s$ ,  $A$ ,  $T_{\text{amb}}$  dan  $T_c$  berturut-turut adalah faktor bentuk permukaan, emisivitas, konstansta Stefan-Boltzmann, luas

penampang perpindahan kalor, temperatur lingkungan dan temperatur sisi dingin *heat sink*. Besar beban kalor radiasi adalah 86,88W

$$Q_{\text{radiasi}} = F \cdot e \cdot s \cdot A \cdot (T_{\text{amb}}^4 - T_c^4) \quad (2)$$

Beban konveksi diperoleh dari persamaan 3, dimana  $h$  adalah koefisien perpindahan kalor konveksi, sehingga besar beban kalor konveksi adalah 89,3W

$$Q_{\text{konveksi}} = h \cdot A \cdot (T_{\text{amb}} - T_c) \quad (3)$$

Beban kalor konduksi diperoleh dari persamaan 4, dimana  $k$  dan  $x$  adalah koefisien perpindahan kalor konduksi dan tebal dinding kotak minuman, sehingga besar beban kalor konduksi adalah 22,4W.

$$Q_{\text{konduksi}} = kA \frac{\Delta T}{L} \quad (4)$$

Beban kalor kombinasi konveksi dan konduksi diperoleh dari persamaan 5, sehingga besar beban kalornya adalah 21,7W.

$$Q_{\text{passive}} = \frac{A \cdot \Delta T}{\frac{x}{k} + \frac{1}{h}} \quad (5)$$

Beban dari bahan yang didinginkan yaitu air 1 liter diperoleh dari persamaan 6, dimana  $m$  C dan  $\Delta T$  berturut-turut adalah massa air, kalor jenis air dan beda temperatur air sebelum dan sesudah didinginkan. Besar beban kalor 1L air adalah 5,13W.

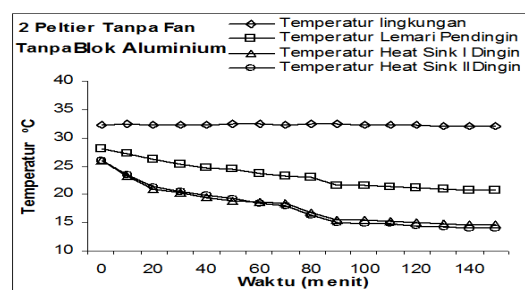
$$Q = mC\Delta T \quad (6)$$

Total beban pendingin pasif adalah 225,23W untuk beban 1L air. Maksimum beban kalor aktif untuk penyerapan kalor di kotak pendingin sebesar 360W adalah 25L air, namun untuk memberikan pendingin yang cukup dan waktu pendinginan yang tidak terlalu lama sebaiknya maksimum beban pendingin adalah 16 L air. Beban pendingin yang digunakan dalam pengujian adalah 1L air, sebagai beban awal pendinginan, dimana variasi beban pendinginan dilakukan pada pengujian lanjutan. Beban pendingin akan mempengaruhi temperatur capaian kotak

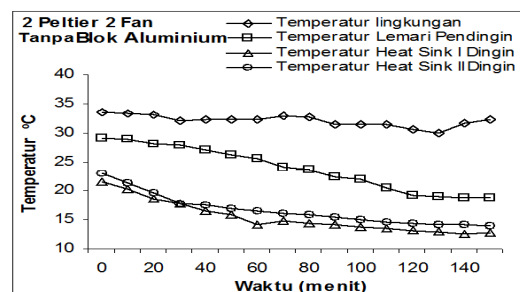
pendingin dan waktu yang dibutuhkan untuk mencapai temperatur tersebut.

### 3.2. Pengujian Menggunakan 2 Modul TEC

Hasil pengujian proses pendinginan menggunakan 2 modul TEC tanpa fan dan pengujian proses pendinginan menggunakan 2 modul TEC dengan menggunakan 2 fan tanpa blok aluminium dapat dilihat pada Gambar 7a dan Gambar 7b. Hasil pengujian menunjukkan hasil bahwa temperatur *heat sink* dingin I dan temperatur *heat sink* dingin II relatif menunjukkan hasil yang sama, hal ini karena jumlah kalor yang dibuang di *heat sink* relatif sama. Temperatur ruangan pendingin dengan fan lebih dingin dari temperatur ruang tanpa fan, hal ini karena adanya konveksi paksa dari fan sehingga proses perpindahan kalor dari temperatur ruang ke *heat sink* dingin lebih cepat dan mencapai seluruh bagian *heat sink*, sehingga lebih banyak kalor ruangan yang diserap *heat sink*.

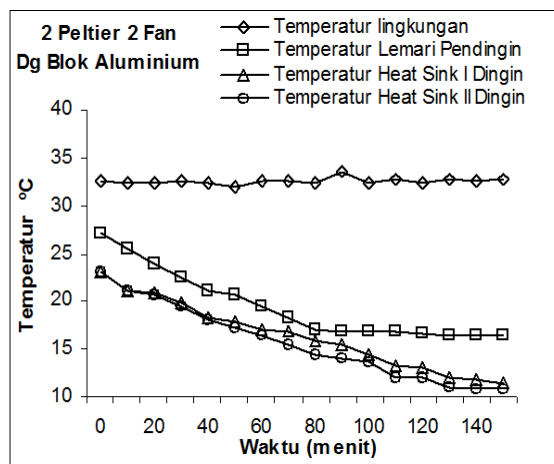


(a)



(b)

**Gambar 7. Pengujian Kotak Pendingin dengan dua modul TEC tanpa blok aluminium**



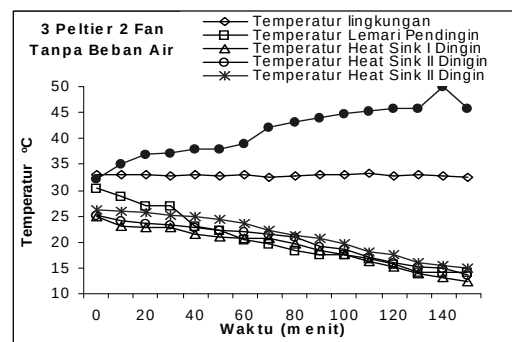
**Gambar 8. Pengujian Kotak Pendingin dengan dua modul TEC dan blok aluminium**

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa temperatur ruang dingin lebih rendah jika dibandingkan dengan tanpa blok aluminium (Gambar 7), hal ini sebanding dengan semakin rendahnya temperatur *heat sink* dingin.

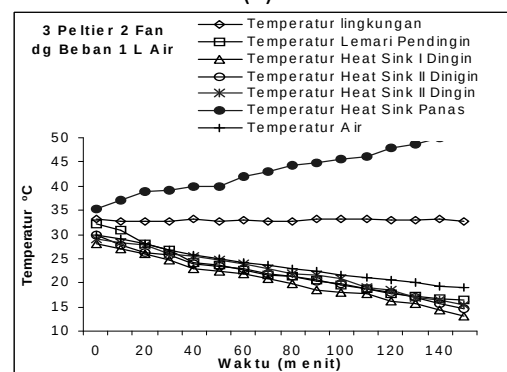
Pada pengujian menggunakan blok aluminium, temperatur ruangan menjadi lebih dingin, hal ini dapat dicapai karena adanya penambahan tebal isolasi di sekitar blok aluminium sehingga rugi-rugi kalor dari sisi dingin peltier berkurang. Terlihat di sini bahwa penambahan blok aluminium meningkatkan kinerja penyerapan kalor modul TEC sehingga temperatur ruangan yang lebih rendah dapat dicapai.

### 3.3. Pengujian Menggunakan 3 Modul TEC Dengan Blok Aluminium

Pada pengujian menggunakan 3 peltier dengan beban pendingin dan tanpa beban pendingin dengan blok aluminium (Gambar 9), temperatur ruang dingin yang diperoleh lebih rendah diperoleh pada kondisi tanpa beban (Gambar 9a).



(a)

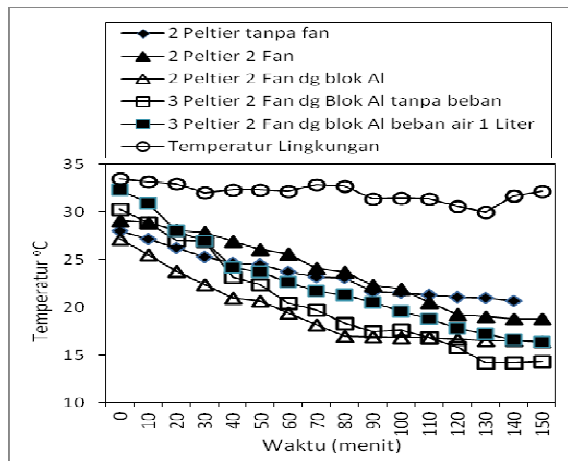


(b)

**Gambar 9. Pengujian dengan tiga modul TEC dengan blok aluminium**

Dengan penambahan beban pendingin air sejumlah 1 liter untuk waktu pendinginan temperatur ruangan yang diperoleh sedikit lebih tinggi, karena sebagian kalor digunakan untuk menyerap kalor dari beban air (Gambar 9b).

Pada Gambar 10 ditunjukkan distribusi temperatur selama 150 menit, kondisi temperatur lingkungan dan temperatur ruangan pendingin dengan 2 modul TEC tanpa 2 Fan, dengan 2 Fan pakai blok aluminium, kemudian 3 peltier dengan 2 fan pakai blok aluminium tanpa beban dan dengan beban 1 liter air. Tampak bahwa temperatur terendah setelah 150 menit pada kotak pendingin dicapai pada kondisi menggunakan 3 peltier, 2 Fan dengan blok aluminium yaitu 14,3 °C, sedangkan dengan beban air 1 liter dicapai pada 16,4 °C.



**Gambar 10. Temperatur lingkungan dan temperatur lemari pendingin dengan peltier, fan dan blok aluminium**

#### 4. Kesimpulan

Pemakaian modul TEC (efek Peltier) yang masih terbatas penggunaannya dapat diaplikasikan untuk pendinginan dengan beban pendingin kecil, sehingga dikembangkan untuk pendingin makanan / minuman / buah dengan ukuran kotak pendingin yang kecil (*mini refrigerator*). Penggunaan modul TEC memberikan hasil yang lebih baik jika diaplikasikan menggunakan 3 peltier dengan blok aluminium, tanpa beban pendingin dengan capaian temperatur terendah 14,3 °C dan temperatur 16,4 °C dengan beban air 1 L pada pendinginan selama 150 menit. Makin banyak modul TEC yang diaplikasikan makin besar beban kalor yang dapat diserap, dan capaian temperatur ruang menjadi lebih rendah.

#### 5. Daftar Pustaka

- Cengel dan Boles, 2011, *Thermodynamics an Engineering Approach*, 7<sup>th</sup> Edition, Mc Graw Hill, New York.
- Dongliang Zhao dan Gang Tan, 2014, *A Review of Thermoelectric Cooling:*

*Material, Modeling and Applications, Applied Thermal Engineering*, Vol. 66, pp 14-24.

- [http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoelectric_effect) (8 Februari 2015).
- <http://www.lairdtech.com> (9 Februari 2015).
- <https://hvactutorial.wordpress.com/refrigeration-system/special-refrigeration-system/thermoelectric-refrigeration-system/> (28 Januari 2015).
- <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric/thermalRef02> (8 Februari 2015).
- [http://peltiermodules.com/peltier.datasheet/Peltier\\_Modules.pdf](http://peltiermodules.com/peltier.datasheet/Peltier_Modules.pdf)
- Irwin Bizzy dan Rury Apriansyah, 2013, *Kaji Eksperimental Kotak Pendingin Minuman Kaleng dengan Termoelektrik Bersumber dari Arus DC Kendaraan dalam Rangkaian Seri dan Paralel*, Proceeding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM XII), Bandar Lampung, 23 - 24 Oktober.
- Marleni Margreth Nino, Ishak Sartana Limbong dan Ben Vasco Tarigan, 2014, *Pengaruh Penambahan Elemen Peltier terhadap Kemampuan Menjaga Temperatur Penyimpanan Vaksin dengan Berbahan Dasar Polivinil Khlorida (PVC)*, Lontar Jurnal Teknik Mesin Undara, Vol. 1 no.2 2014, pp 40-46.
- Matthew M. Barry, Kenechi A. Agbim, Minking K. Chyu, 2014, *Journal of Electronic Materials*.
- Moin Ahmad S. Shaikh dan M.K. Chopra, 2014, *An Extensive Review on Thermoelectric Refrigerator*, International Journal of Scientific Progress and Research, Vol. 6 no. 1, pp 7-11.

- P.Y. Hou, R. Baskaran dan K.F. Bohringer, 2009, *Optimization of Microscale Thermoelectric Cooling (TEC) Element Dimensions for Hotspot Cooling Applications*, Journal of Electronic Materials, Vol. 38 no. 7, pp 950-953.
- R. Umboh, J.O. Wuwung, E. Kendek Allo, B.S. Narasiang, 2012, *Perancangan Alat Pendinginan Portable Menggunakan Elemen Peltier*, Vol. 1 no. 3, e-Journal Teknik Elektro dan Komputer, pp 1-6.
- Ronggui Yang, Gang Chen, A. Ravi Kumar, G. Jeffrey Snyder dan Jean-Pierre Fleurial, 2005, *Transient Cooling of Thermoelectric Coolers and Its Applications for Microdevices*, Energy Conversion and Management, Vo. 46, pp 1407-1421.
- S. Filippeschi, E. Latrofa dan G. Salvadori, 2006, *Periodic Two-Phase Heat Transfer Coefficient in Thermoelectric Cooling Mini Evaporator*, International Journal of Low Carbon Technologies, Vol. 1 no.4, pp 298-314.
- S.B. Riffat dan Xiaoli Ma, 2004, *Improving the Coefficient of Performance of Thermoelectric Cooling Systems: A Review*, International Journal of Energy Research, Vol. 28, pp 753-768.