

## KAJI PENERAPAN EFEK PELTIER UNTUK ALAT KECIL-RINGAN PENDINGIN MINUMAN

Hendi Riyanto, Sigit Yoewono

Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

Jln Ganesa 10, Bandung 40132

Telp: +62-22-2504243; Fax: +62-22-2534099; Email: hr995503075@netzero.net

### ABSTRAK

Pendinginan makanan dan minuman sudah menjadi kebutuhan dasar bagi masyarakat modern karena dapat meningkatkan kualitas rasa dan higienisnya. Di samping itu, masyarakat modern dituntut untuk memiliki mobilitas yang tinggi. Berdasarkan dua kebutuhan tersebut, dilakukan kajian tentang kelayakan penerapan efek Peltier dari alat pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler* - TEC) untuk alat pendingin minuman kaleng/kotak yang kecil dan ringan sehingga mudah untuk dijinjing dan dipindah-pindahkan. Kelayakan tersebut mencakup: 1) kelayakan energi, 2) kelayakan produksi dan 3) kelayakan harga. Kajian diawali dengan melakukan analisis energi untuk menentukan desain optimum alat kecil-ringan pendingin minuman. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan purwarupa alat pendingin tersebut. Berikutnya dilakukan pengujian awal kualitatif terhadap purwarupa tersebut dan perhitungan ongkos produksinya. Hasilnya, purwarupa alat kecil-ringan pendingin minuman yang menggunakan TEC jenis bismuth telluride ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) dengan dimensi luar kotak pendingin  $19 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$  dan menggunakan polyurethane (PU) serta extended polystyrene (EPS) foam dengan ketebalan total 9 mm sebagai dinding dan isolator panas kotak pendingin. Namun, karakteristik TEC yang dipilih menuntut penambahan sirip-sirip pendingin dan kipas untuk menjaga temperatur sisi panas TEC, sehingga diperlukan daya tambahan sebesar 1,8 W. Pengujian kualitatif menunjukkan bahwa purwarupa alat pendingin dapat mendinginkan minuman susu pada tegangan 7,5 V. Selanjutnya, peletakan TEC pada kotak pendingin berpengaruh pada pemerataan distribusi temperatur minuman. Peletakan TEC di atas kotak pendingin menghasilkan distribusi temperatur minuman yang merata, sedangkan peletakan TEC di bawah kotak pendingin menghasilkan stratifikasi temperatur pada minuman.

*Katakunci: Efek Peltier, thermoelectric cooler (TEC), alat kecil-ringan pendingin minuman*

### 1. Pendahuluan

Pendinginan makanan dan minuman sudah menjadi salah satu kebutuhan dasar bagi masyarakat modern karena dapat meningkatkan kualitas rasa dan higienis makanan dan minuman tersebut. Di samping itu, masyarakat modern juga dituntut untuk memiliki mobilitas yang tinggi. Berdasarkan dua kebutuhan tersebut, dilakukan kajian tentang kelayakan penerapan efek Peltier dari alat pendingin termoelektrik (*thermoelectric cooler*; TEC) untuk alat pendingin minuman kaleng/kotak yang kecil dan ringan sehingga mudah untuk dijinjing dan dipindah-pindahkan. Kelayakan yang dimaksud mencakup: 1) kelayakan energi, 2) kelayakan produksi dan 3) kelayakan harga. Sebetulnya, alat kecil-ringan (*mini-portable*) pendingin minuman semacam ini sudah banyak diproduksi dan diperdagangkan di pasaran [1]. Walau demikian, kajian ini lebih ditekankan pada sintesa desain alat kecil-ringan

pendingin minuman, sehingga dari kajian ini dihasilkan suatu alat pendingin yang kinerjanya tinggi dan harga jualnya mampu bersaing.

Kegiatan kajian diawali dengan melakukan perancangan alat kecil-ringan pendingin minuman yang menggunakan TEC sebagai alat pendinginnya. Desain alat pendingin tersebut dibatasi oleh kriteria-kriteria yang ditetapkan sebagai berikut: 1) minuman kaleng/kotak dapat didinginkan hingga temperatur  $15^\circ\text{C}$  dalam waktu kurang dari 30 menit, 2) catu daya arus searah (DC) untuk TEC tidak lebih dari 50 W pada tegangan listrik kurang dari 10 V, 3) massa alat pendingin tidak lebih dari 1 kg, 4) bahan alat pendingin dapat diperoleh di pasaran lokal dan harganya murah, 5) pembuatan alat pendingin dapat dilakukan oleh teknisi madya dan 6) alat pendingin tersebut indah secara estetika, aman serta tidak berisik.

Untuk itu, dirancang tujuh alternatif desain dengan dimensi dan peletakan TEC yang bervariasi. Kemudian



ditentukan satu desain optimum dari tujuh alternatif desain tersebut sesuai dengan hasil analisis energi. Setelah itu, dibangun purwarupa alat pendingin tersebut dan kemudian dilakukan pengujian kualitatif terhadapnya. Untuk sementara ini, perhitungan ongkos produksi masih sebatas pada ongkos pembuatan purwarupa sehingga belum mencerminkan biaya produksi produk komersial.

## 2. Pemilihan Bahan Alat Pendingin

Alat pendingin minuman dirancang berbentuk kotak agar mudah pembuatannya. Alat pendingin tersebut memerlukan bagian-bagian berikut ini: 1) dinding, 2) isolator panas, 3) TEC sebagai alat pewujud efek Peltier, 4) sirip-sirip pendingin dan, jika diperlukan, 5) kipas.

Bahan dinding kotak dan isolator panas ditentukan dengan memilih dari berbagai alternatif bahan yang tertera dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Material Dinding dan Isolator Panas [2].

Material	$k$ W/m. K	$\rho$ kg/m <sup>3</sup>	$m \cdot q''$ <sup>1)</sup> kg.W/ m <sup>2</sup>	Harga Satuan
Expanded Polystyrene Foam	0,03	15	0,108	Rp1000 per mm tebal
Polyurethane	0,02	1050	5,04	Rp40000 per kg
Silica Aerogel	0,003	1,9	0,0014	\$3700 per lembar <sup>2)</sup>
Fiberglass	0,038	32	0,292	\$2,78 per m <sup>2</sup>
Cork	0,039	120	1,123	\$19,4 per m <sup>2</sup>

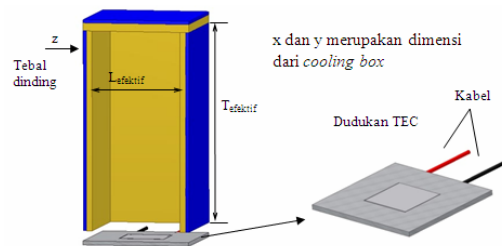
<sup>1)</sup> Untuk dinding dengan luas 160 x 100 mm<sup>2</sup>, ketebalan 10 mm dan  $\Delta T = 15^\circ\text{C}$

<sup>2)</sup> Lembar 4" x 3<sup>3</sup>/<sub>4</sub>" x 1<sup>1</sup>/<sub>8</sub>"

Tabel 1 menyajikan beberapa bahan dinding dan isolator panas yang tersedia di pasaran dan bisa digunakan sebagai kotak pendingin. Parameter-parameter bahan yang disebutkan adalah 1) konduktivitas termal  $k$ , 2) massa jenis  $\rho$ , 3) perkalian massa dengan fluks panas  $m \cdot q''$  dan 4) harga satuan. Ditinjau dari kemampuan isolasi panas dan massa, *silica aerogel* merupakan bahan yang paling bagus untuk isolasi panas dan ringan (nilai  $m \cdot q''$  paling kecil), namun harganya mahal. *Expanded polystyrene foam* (EPS) merupakan bahan isolator panas

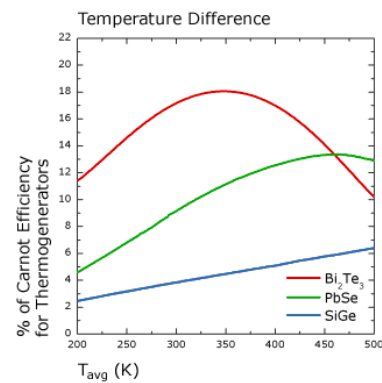
terbaik kedua dan harganya cukup murah. *Polyurethane* (PU) merupakan bahan isolator yang terbesar massanya, namun memiliki kekuatan yang mencukupi sebagai bahan dinding kotak pendingin.

Berdasarkan pertimbangan sifat isolator panas, harga dan kemudahan proses pembuatan, maka dipilih PU sebagai bahan dinding dan EPS sebagai bahan isolator panas. Susunan PU sebagai bahan dinding luar dan EPS sebagai bahan isolator diperlihatkan pada Gambar 1 berikut. Pada gambar tersebut diperlihatkan juga tentang peletakan TEC beserta dudukannya terhadap kotak pendingin.



Gambar 1 Kotak pendingin minuman dan TEC.

TEC yang dipilih untuk alat kecil-ringan pendingin minuman adalah *bismuth telluride* ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ) karena, berdasarkan pada Gambar 2, TEC jenis ini paling unggul dibandingkan dengan jenis lainnya, seperti *lead selenium* (PbSe) dan *silicon germanium* (SiGe).



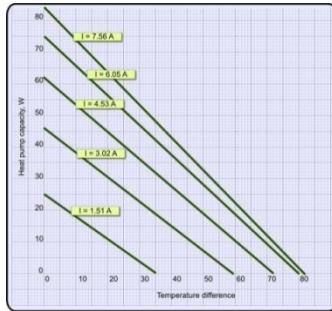
Gambar 2. Kurva efisiensi beberapa jenis TEC [3].

Pada Gambar 2 ditunjukkan nisbah efisiensi TEC terhadap efisiensi siklus Carnot yang beroperasi pada temperatur tandon panas dan perbedaan temperatur yang sama. Jelas terlihat bahwa TEC *bismuth telluride* mengungguli dua jenis TEC lainnya, untuk kisaran temperatur di bawah 450 K. Sementara itu, alat kecil-pendingin minuman akan bekerja pada kisaran temperatur 300 K.

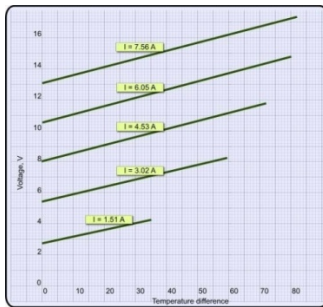
Pada umumnya, kinerja suatu TEC ditunjukkan dengan kurva-kurva kinerja seperti pada Gambar 3 berikut. Gambar 3.a menunjukkan kapasitas pompa panas yang menurun secara monoton dan linier dengan



kenaikan beda temperatur, untuk suatu arus listrik tertentu. Sedangkan Gambar 3.b menunjukkan kenaikan tegangan listrik yang dibutuhkan secara monoton dan linier dengan kenaikan beda temperatur, untuk suatu arus listrik tertentu.



Gambar 3.a. Kurva kapasitas TEC terhadap beda temperatur [4].

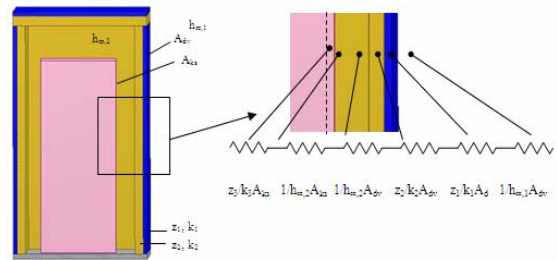


Gambar 3.b. kurva tegangan TEC terhadap beda temperatur [4].

### 3. Formulasi Kaji Energi

Kaji energi dilakukan untuk menghitung beban TEC pada operasi kondisi transien dan kondisi tunak (*steady*) alat pendingin. Operasi kondisi transien terjadi saat temperatur minuman belum mencapai 15 °C sehingga beban TEC adalah untuk menurunkan energi dalam sensibel minuman dan untuk mengimbangi masukan panas dari lingkungan (*heat gain*). Sedangkan operasi kondisi tunak terjadi saat temperatur minuman telah mencapai 15 °C sehingga beban TEC hanya untuk mengimbangi masukan panas dari lingkungan.

Alat pendingin dimodelkan sebagai kotak dengan dinding berlapis seperti dapat dilihat pada Gambar 4 berikut. Lebih lanjut, dilakukan penyederhanaan dengan menerapkan perhitungan kondisi tunak laju masukan panas dari lingkungan sebagai superposisi laju panas dari perhitungan dinding-dinding komposit satu dimensi.



Gambar 4. Pemodelan dinding kotak pendingin.

Jadi, untuk setiap dinding kotak pendingin berlaku

$$q_c = UA(T_{\infty,1} - T_{\infty,2}) \quad (1)$$

dimana  $T_{\infty,1}$  adalah temperatur lingkungan (dalam hal ini ditetapkan sebesar 30 °C sebagai kondisi desain),  $T_{\infty,2}$  adalah temperatur ruang pendingin (dalam hal ini ditetapkan sebesar 15 °C sebagai temperatur desain) dan  $U$  adalah koefisien perpindahan panas total yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$UA = \frac{1}{\frac{1}{h_1 A_1} + \frac{L_1}{k_1 A_1} + \frac{L_2}{k_2 A_2} + \frac{1}{h_2 A_2}} \quad (2)$$

Konduktivitas bahan  $k_1$  dan  $k_2$  adalah untuk PU dan EPS dengan tebal masing-masing  $L_1$  dan  $L_2$ . Sedangkan koefisien konveksi alamiah  $h_1$  dan  $h_2$  dihitung sesuai dengan rumus-rumus [5],

$$h = \frac{k}{L} \left\{ 0.693 + \frac{0.870 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.493/Pr)^{1/4}]^{1/4}} \right\} \quad (3)$$

untuk dinding vertikal pada Bilangan Rayleigh  $Ra_L \leq 10^9$ ,

$$h = \begin{cases} 0.54 \frac{k}{L} Ra_L^{1/4}, & 10^4 \leq Ra_L \leq 10^7 \\ 0.15 \frac{k}{L} Ra_L^{1/3}, & 10^7 \leq Ra_L \leq 10^{10} \end{cases} \quad (4)$$

untuk permukaan atas pelat panas atau permukaan bawah pelat dingin,

$$h = 0.27 \frac{k}{L} Ra_L^{1/4}, \quad 10^5 \leq Ra_L \leq 10^{10} \quad (5)$$

untuk permukaan bawah pelat panas atau permukaan atas pelat dingin.

Beban TEC pada operasi kondisi transien dihitung menggunakan persamaan berikut,

$$q_c = \frac{\rho V c_p \Delta T}{\Delta t} + UA(T_{\infty,1} - T_{\infty,2}) \quad (6)$$



dimana  $\rho V c_p \Delta T$  adalah penurunan energi dalam sensibel udara di dalam kotak pendingin,  $\Delta t$  adalah waktu yang diperlukan oleh udara dalam kotak pendingin untuk mencapai temperatur 15 °C, dan  $UA(T_{s,1} - T_{s,2})$  adalah masukan panas dari lingkungan. Perlu ditambahkan bahwa pers. (6) merupakan penyederhanaan dari persamaan diferensial perpindahan panas transien yang lebih rumit.

Pada operasi pendinginan, TEC harus membuang panas ke lingkungan dengan laju panas,  $q_H$ , sebesar [4]

$$q_H = q_C + VI \quad (7)$$

dimana  $VI$  adalah daya listrik DC yang dibutuhkan oleh TEC. Laju panas  $q_H$  ini dibuang ke lingkungan melalui sirip-sirip pendingin. Selain itu, temperatur sisi panas TEC harus dijaga agar tidak melebihi kemampuan material TEC. Temperatur sisi panas TEC dapat dihitung dengan persamaan berikut [4],

$$T_H = T_\infty + \theta q_H \quad (8)$$

dimana  $T_\infty$  adalah temperatur lingkungan dan  $\theta$  adalah tahanan termal bahan TEC.

#### 4. Hasil Kaji Energi dan Pengujian

Tabel 2 menunjukkan tujuh alternatif desain kotak alat kecil-ringan pendingin minuman. Setiap alternatif desain memiliki dimensi kotak dan ketebalan dinding serta isolasi panas yang bervariasi. Untuk alternatif desain 1, 2, 3 dan 4, TEC dipasang di bawah kotak pendingin, sedangkan untuk alternatif desain 5, 6 dan 7, TEC dipasang di atas kotak pendingin.

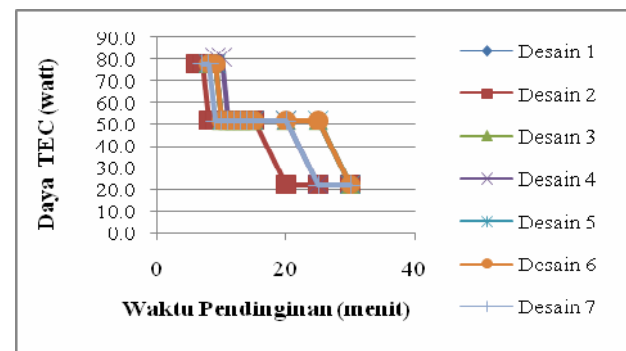
Tabel 2. Alternatif Desain Kotak Pendingin [2].

Desain	TEC di bawah				TEC di atas		
	1	2	3	4	5	6	7
Tinggi (cm)	24	20	18	16	13,5	13,5	16
Lebar Sisi (cm)	8	10	8	8	8	6	6
Tebal EPS (mm)	6	11	5	6	5	4	4
Tebal PU (mm)	4	10	4	4	4	4	4

Pada kondisi operasi transien, beban TEC tidak saja bergantung pada penurunan energi dalam sensibel minuman, tetapi juga dipengaruhi oleh waktu pendinginan yang diinginkan. Untuk penurunan energi

sensibel yang sama dan dengan waktu pendinginan yang cepat dibutuhkan daya listrik DC masukan ke TEC yang lebih besar.

Gambar 5 berikut menunjukkan hasil perhitungan daya TEC yang diperlukan terhadap waktu pendinginan untuk masing-masing alternatif desain. Pada gambar tersebut terlihat bahwa Desain 2 mampu mendinginkan minuman dari temperatur lingkungan menjadi 15 °C yang paling cepat, sedangkan Desain 6 yang paling lambat. Juga dapat dilihat bahwa dengan kriteria waktu pendinginan maksimum selama 30 menit, maka daya listrik masukan ke TEC pada setiap alternatif desain masih di bawah 50 W, yaitu masih di bawah kriteria desain yang diinginkan. Namun, perlu diperhitungkan tegangan listrik yang dibutuhkan sesuai dengan karakteristik TEC yang digunakan.



Gambar 5 Daya TEC terhadap waktu pendinginan hingga temperatur 15 °C [2].

Tabel 3 berikut merangkum tegangan TEC yang diperlukan untuk waktu pendinginan 20 menit, 25 menit dan 30 menit. Karena dalam kriteria desain telah ditetapkan bahwa tegangan listrik masukan TEC tidak boleh lebih dari 10 V, maka untuk waktu pendinginan selama 30 menit tegangan masukan TEC untuk semua alternatif desain masih di bawah kriteria tegangan listrik tersebut. Jika diinginkan waktu pendinginan yang lebih cepat 5 menit, maka alternatif desain yang bisa memenuhinya adalah Desain 2, 4 dan 7.

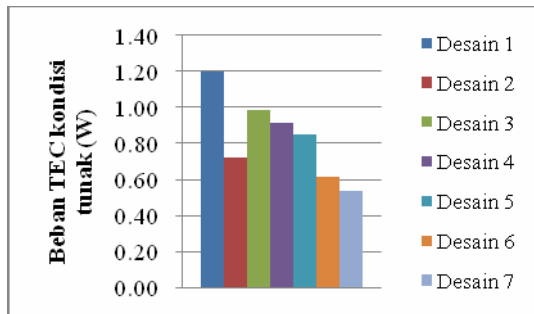
Tabel 3. Tegangan TEC terhadap Waktu Pendinginan [2].

Desain	Tegangan TEC, V (Volt)		
	t = 20 menit	t = 25 menit	t = 30 menit
1	11,5	11,5	7,5
2	7,5	7,5	7,5
3	11,5	11,5	7,5
4	11,5	7,5	7,5
5	11,5	11,5	7,5
6	11,5	11,5	7,5
7	11,5	7,5	7,5

Beban TEC pada operasi kondisi tunak untuk



masing-masing alternatif desain dirangkum dalam Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Beban TEC kondisi tunak [2].

Pada Gambar 6 terlihat bahwa Desain 7 merupakan alternatif desain dengan beban TEC terkecil (0,58 W), sebaliknya Desain 1 menghasilkan beban TEC yang terbesar (1,2 W). Walau demikian, tidak berarti bahwa serta merta Desain 7 yang dipilih karena masih ada faktor lain yang perlu dipertimbangkan, seperti massa total alat pendingin.

Tabel 4 berikut merangkum massa dinding kotak pendingin yang terbuat dari PU untuk setiap alternatif desain. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa Desain 2 massanya melebihi 1 kg, yaitu massa alat pendingin maksimum yang diinginkan. Sementara itu, Desain 6 merupakan alternatif desain dengan massa kotak yang paling kecil.

Tabel 4. Massa Dinding Kotak Pendingin Setiap Alternatif Desain [2].

Desain	Tinggi (cm)	Lebar (cm)	Tebal (mm)	Massa (gram)
1	25	10	4	525
2	22,1	14,2	10	1648
3	18,9	9,8	4	389
4	17	10	4	357
5	14,4	9,8	4	296
6	14,3	7,6	4	228
7	16,9	7,8	4	277

Selanjutnya, yang perlu dikaji adalah panas yang harus dibuang dari sisi panas TEC ke lingkungan dengan menggunakan pers. (7) dan temperatur sisi panas TEC dengan menggunakan pers. (8). Hasilnya dirangkum dalam Tabel 5 berikut. Dari tabel tersebut terlihat bahwa kapasitas sirip yang tersedia,  $q_{s,nirkipas}$ , tidak mampu untuk membuang panas,  $q_H$ , dari TEC kecuali ditambahkan kipas.

Tabel 5. Panas yang Harus Dibuang dari TEC, Kemampuan Sirip Nirkipas dan Sirip Berkipas [2].

	$q_H$ (W)	$q_{s,nirkipas}$ (W)	$q_{s,berkipas}$ (W)
Desain 1	61	8.5	61.7
Desain 2	32	7.9	35.3
Desain 3	61	9.2	61.7
Desain 4	63	9.5	63.2
Desain 5	61	10.0	61.7
Desain 6	60	10.0	61.7
Desain 7	61	9.5	61.7

Hal terakhir yang dijadikan variabel penentu desain optimum adalah biaya bahan dan ongkos pembuatan. Dalam hal ini yang dibandingkan adalah biaya bahan dinding kotak pendingin (PU) dan isolator (EPS), dengan pertimbangan bahwa biaya komponen alat pendingin yang lain, seperti TEC, sirip-sirip pendingin dan kipas, akan sama untuk setiap alternatif desain. Tabel 6 berikut merangkum biaya bahan dinding kotak pendingin untuk setiap alternatif desain.

Tabel 6. Biaya Bahan Dinding Kotak Pendingin [2].

Desain	Biaya Isolator (EPS)	Biaya Dinding (PU)	Biaya Total (Rp)
1	6000	21000	27000
2	11000	66000	77000
3	5000	15600	20600
4	6000	14300	20300
5	5000	12000	17000
6	4000	9200	13200
7	4000	12000	16000

Ditinjau dari segi biaya bahan, Desain 6 memerlukan biaya paling kecil sedangkan Desain 2 memerlukan biaya paling tinggi.

Seluruh hasil kajian di atas dirangkum dalam Tabel 7. Desain optimum alat pendingin ditentukan dengan meminimumkan massa kotak, biaya pembuatan, panas yang harus dibuang dari sisi panas TEC, beban tunak dan beban transien serta memaksimalkan volume kotak pendingin. Untuk itu, dibuat Tabel 8 yang menunjukkan sistem nilai (*score*) setiap alternatif desain yang setiap nilai kriterianya telah dinormalkan sehingga bernilai dari 0 (yang berarti jelek) hingga 1 (bagus). Desain optimum adalah alternatif desain dengan jumlah nilai yang terbesar. Dari Tabel 8 terlihat bahwa Desain 2 menempati urutan pertama sebagai desain optimum. Namun demikian, karena massanya melebihi 1 kg, maka desain tersebut disingkirkan dari alternatif pilihan. Sementara itu, Desain 7, yang menempati urutan kedua, juga disingkirkan karena pertimbangan volume kotak



pendingin yang terlalu kecil sehingga akan menyulitkan pengambilan minuman dari kotak tersebut (alasan ergonomi).

Sesuai dengan pertimbangan-pertimbangan di atas, purwarupa alat kecil-ringan pendingin minum dibuat mengikuti Desain 3. Purwarupa alat pendingin tersebut diperlihatkan oleh Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Purwarupa alat kecil-ringan pendingin minuman

Untuk tahapan kajian ini pengukuran kinerja purwarupa alat pendingin minuman belum dilakukan secara menyeluruh, melainkan baru sebatas uji kualitatif, yaitu uji kemampuan alat untuk mencapai temperatur pendinginan sebesar  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  dalam waktu kurang dari 30 menit dengan daya masukan kurang dari 50 W pada tegangan kurang dari 10 V. Perlu ditambahkan di sini bahwa pengukuran temperatur dilakukan dengan menempelkan alat ukur pada dinding luar kaleng minuman, bukan langsung ke fluida minuman di dalam kaleng.

Hasilnya, purwarupa dapat memenuhi persyaratan tersebut di atas. Daya masukan yang dibutuhkan adalah 23 W pada tegangan 7,5 V. Masukan daya ini masih lebih besar daripada hasil perhitungan, yaitu sebesar 8 W. Hal ini menunjukkan bahwa panas lingkungan yang masuk ke kotak pendingin masih lebih besar daripada hasil perhitungan. Penyebabnya adalah kebocoran-kebocoran panas dari sambungan-sambungan dinding kotak pendingin yang tidak diantisipasi dalam model perhitungan energi.

Di samping itu, untuk peletakan TEC di bawah kotak pendingin terjadi stratifikasi temperatur pada minuman karena tidak adanya sirkulasi fluida minuman. Sebagai perbandingan, ketika pengujian dilakukan dengan posisi TEC di atas kotak pendingin, temperatur fluida minuman terdistribusi lebih merata.

## 5. Kesimpulan dan Pengembangan Lanjut

Kaji awal penerapan efek Peltier dari alat pendingin TEC untuk alat kecil-ringan pendingin minuman telah

diwujudkan dalam bentuk purwarupa pertama alat kecil-ringan pendingin minuman. Purwarupa alat pendingin tersebut mampu mendinginkan minuman susu kaleng hingga  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  dalam waktu sekitar 30 menit. Namun demikian, dipercaya bahwa desain alat kecil-ringan pendingin minuman masih bisa ditingkatkan kinerjanya.

Penempatan TEC di bawah kotak pendingin kurang menguntungkan ditinjau dari segi distribusi temperatur fluida minuman. Namun, peletakan TEC di atas kotak pendingin kurang cantik dipandang dari segi estetika.

Untuk selanjutnya, kaji kelayakan efek Peltier dari alat pendingin TEC untuk pendinginan minuman akan dikembangkan dengan menekankan pada pemodelan yang lebih rinci, misalnya menggunakan pemodelan CFD (*computational fluid dynamics*), dan melakukan pengukuran kinerja yang lebih menyeluruh. Di samping itu, bentuk-bentuk wadah pendingin selain kotak akan dieksplorasi lebih mendalam agar diperoleh desain yang lebih tinggi kinerjanya. Kemudian, mengingat daya masukan pendinginan kondisi transien jauh lebih besar dibandingkan dengan kondisi tunak, maka diperlukan alat kendali masukan daya. Alat kendali ini akan menurunkan daya total yang dibutuhkan oleh alat pendingin.

## Ucapan Terimakasih

Para penulis menyampaikan terimakasih kepada Institut Teknologi Bandung yang telah mendanai riset ini melalui Program Riset Peningkatan Kapasitas ITB 2010.

## Daftar Pustaka

- [1] <http://www.usbgeek.com>, *USB mini Fridge and Heater*, Rabu, 19 November 2009.
- [2] Rachmawati, A., *Perancangan dan Pembuatan Pendingin Minuman Mini Portabel*, Tugas Sarjana, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, 2010.
- [3] <http://www.micropelt.com/tech/technology.php>, *TEC Characteristics*, Kamis, 8 Juli 2010.
- [4] <http://www.pcbheaven.com/wikipages/The Peltier Thermo-Element/>, *The Peltier Thermo-Element*, Sabtu, 23 Januari 2010.
- [5] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., Lavine, A. S., *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, Edisi 6, John Wiley & Sons, 2007.



Tabel 7. Rangkuman Analisis Alternatif Desain Alat Pendingin.

Kriteria	Desain						
	1	2	3	4	5	6	7
Massa Kotak (gr)	525	1648	389	357	296	228	277
Biaya Kotak (Rp)	27000	77000	20600	20300	17000	13200	16000
Panas Buang (W)	61	32	61	63	61	60	61
Volume Kotak (cm <sup>3</sup> )	1536	2000	1152	1024	864	486	576
Beban Tunak (W)	1.2	0.72	0.99	0.91	0.85	0.62	0.54
Beban Transien (W)	8	6	8	8	8	7	6
Estetika	1	1	1	1	0.5	0.5	0.5

Tabel 8. Normalisasi Sistem Nilai Alternatif Desain

Kriteria	Desain						
	1	2	3	4	5	6	7
Massa Kotak	0.791	0	0.887	0.909	0.952	1	0.965
Biaya Kotak	0.784	0	0.884	0.889	0.94	1	0.956
Panas Buang	0.065	1	0.065	0	0.065	0.097	0.065
Volume Kotak	0.694	1	0.44	0.355	0.25	0	0.059
Beban Tunak	0	0.727	0.318	0.439	0.53	0.879	1
Beban Transien	0	1	0	0	0	0.5	1
Estetika	1	1	1	1	0	0	0
Jumlah	3.333	4.727	3.593	3.593	2.737	3.476	4.046



