

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

## M5-018 Pengujian Kemampuan Pendinginan Prototipe Kotak Sampel Darah Berbasis Thermoelektrik dan Heat Pipe

Nandy Putra dan Ferdiansyah Nurudin I.

Laboratorium Perpindahan Kalor  
Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia  
Kampus UI Depok 16424, Indonesia  
E-mail: [nandyputra@eng.ui.ac.id](mailto:nandyputra@eng.ui.ac.id)

### ABSTRAK

*Gizi buruk merupakan kejadian kronis dan bukan kejadian yang tiba-tiba. Munculnya kasus gizi buruk yang mencuat akhir-akhir ini adalah lemahnya akan pemantauan status gizi di suatu daerah. Untuk mengetahui kekurangan gizi khususnya pada anemia gizi besi biasanya dipantau dengan pengambilan sampel darah di suatu daerah, baik di perkotaan, pedesaan maupun di daerah terpencil. Pengambilan sampel darah didaerah terpencil yang beriklim tropis dan panas khususnya indonesia cukup sulit dilakukan, sehingga sangat dibutuhkan media penyimpan darah yang tahan dan tidak terpengaruh dengan temperatur lingkungan. Kelemahan media penyimpanan darah yang ada sekarang adalah sulitnya mempertahankan temperatur cabin pada suhu 4-6 °C ketika temperatur lingkungan tiba-tiba naik sangat tinggi. Selain itu kecepatan pendinginan yang cukup lama ketika berada pada beban penuh juga menimbulkan masalah pada sampel darah yang disimpan. Sebagai sumber pendinginan digunakan peltier yang disusun seri secara kelistrikan dan paralel secara thermal. Peltier ini ketika diberi arus listrik akan menghasilkan dua macam kondisi yaitu panas dan dingin, karna peltier bekerja berdasarkan prinsip  $\Delta T$ , untuk menghasilkan suhu yang sangat rendah pada sisi dinginnya maka diperlukan sistem pendinginan yang sangat baik pada sisi panasnya. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk menguji kemampuan sistem pendingin termoelektrik dan heat pipe pada kotak pembawa sampel darah. Pengujian menggunakan lemari es yang memiliki temperatur yang lebih rendah dari suhu lingkungan. Dari hasil pengujian, peltier yang dilengkapi sistem pendinginan heat pipe berhasil menurunkan suhu cabin dari kotak pembawa sampel darah portabel dibawah 0°C dalam waktu yang relative lebih cepat dibandingkan dengan kondisi normal.*

*Kata Kunci : Kotak Pembawa Sampel Darah, Thermoelectric (Peltier), Heat Pipe, Pendinginan Bertingkat (cascade)*

### 1. Pendahuluan

Gizi buruk merupakan kejadian kronis dan bukan kejadian yang tiba-tiba [1]. Munculnya kasus gizi buruk yang mencuat akhir-akhir ini adalah lemahnya akan pemantauan status gizi di suatu daerah. Untuk mengetahui kekurangan gizi khususnya pada anemia gizi besi biasanya dipantau dengan pengambilan sampel darah di suatu daerah, baik di perkotaan, pedesaan maupun di daerah terpencil. Pengambilan sampel darah didaerah terpencil yang beriklim tropis dan panas khususnya indonesia cukup sulit dilakukan, sehingga sangat dibutuhkan media penyimpan darah yang tahan dan tidak terpengaruh dengan temperatur lingkungan. Kelemahan media penyimpanan darah yang ada sekarang adalah sulitnya

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

mempertahankan temperatur cabin pada suhu 4-6 °C ketika temperatur lingkungan tiba-tiba naik sangat tinggi.

Pengembangan dan pemanfaatan elemen peltier saat ini sebagai sistem pendingin maupun pembangkit daya telah banyak dilakukan [2-7]. Pada laboratorium Perpindahan Kalor Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia, pengembangan pemanfaatan elemen peltier juga dilakukan dengan sangat intensif, salah satunya dengan memanfaatkan peltier sebagai pompa kalor [8]. Pengembangan lebih mendalam, dilakukan dengan menerapkan sistem pendinginan berupa peltier tunggal sebagai pompa kalor untuk kotak vaksin dan kotak pembawa sampel darah portabel yang dimulai pada tahun 2004 dengan menerapkan *water cooling* sebagai sistem pendingin sisi panas peltier. Untuk meningkatkan kinerja pendinginan dan portabilitas, telah dilakukan pengembangan pada kotak pembawa sampel darah dengan menerapkan sistem peltier ganda, kombinasi *heatsink-fan-heatpipe* dan penerapan sistem vakum dengan hasil berupa pencapaian suhu 0°C pada ruang cabin dari kotak pembawa sampel darah portabel [9] dan -10°C untuk kotak pembawa vaksin portabel [10-13].

Dengan pencapaian suhu serendah ini, selain digunakan sebagai media penyimpanan darah portabel, kotak pembawa sampel darah ini juga mempunyai potensi untuk dapat digunakan antara lain sebagai penyimpan organ tubuh, sampel *saliva* (air liur), penyimpanan vaksin dalam jumlah besar dan lain sebagainya.

Pencapaian suhu yang sedemikian rendah membuktikan bahwa potensi peltier sebagai sistem pendingin masih cukup besar, tidak seperti sistem refrigerasi konvensional yang menggunakan refrigeran untuk memindahkan kalor seperti pada *vapour-compression* sistem maupun *absorption* sistem, *thermoelctric* Peltier menggunakan energi listrik secara langsung untuk memompa kalor. Selain itu elemen peltier tidak menimbulkan masalah pengrusakan lingkungan, baik itu penipisan lapisan ozon maupun *Global Warming Potential*.

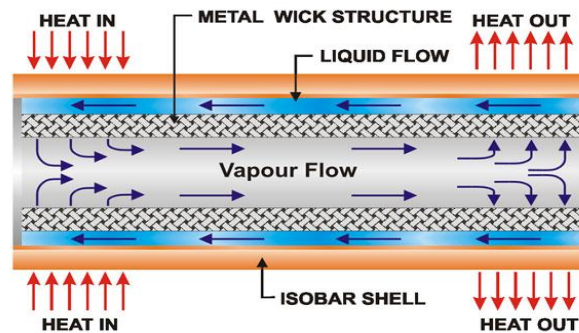
Elemen peltier menggunakan prinsip kerja efek peltier yang menggunakan bahan semikonduktor tipe “N” dan tipe “P” *Bismuth Telluride*. Tersusun atas sejumlah pasangan semikonduktor tersebut, yang secara kelistrikan dihubungkan seri dan secara termal dihubungkan paralel, Modul ini disusun di antara dua pelat keramik dengan tujuan mengisolasi listrik dan menghantarkan panas secara optimal [9] (Gambar 1).



**Gambar 1** Skema bagian dari elemen peltier

Selain bentuknya yang kecil dan tidak memerlukan sistem instalasi yang rumit menjadikan elemen peltier sebagai salah satu pilihan yang tepat untuk digunakan dalam menjaga temperatur ruang pada kotak pembawa sampel darah, vaksin atau media lainnya yang membutuhkan suhu rendah.

Saat ini juga berkembang sistem pendingin untuk komponen elektronik dengan diperkenalkannya teknologi *heat pipe* sebagai pendingin *central processing unit* (CPU). *Heat Pipe* memiliki bentuk yang ringkas, penyerapan kalor yang tinggi dan bebas pemeliharaan sehingga sangat cocok dimanfaatkan sebagai pendingin dari sisi panas peltier. Sebaik apapun sistem pendinginan *heat pipe*, udara yang digunakan sebagai sumber pendinginan tetap berasal dari lingkungan, suhu lingkungan yang tinggi akan berakibat buruk pada kemampuan pendinginan *heat pipe*. Untuk mendapatkan suhu yang relatif rendah bagi *heat pipe* perlu pengkondisian udara lebih lanjut dengan menerapkan sistem pendinginan bertingkat. Pada sistem pendinginan bertingkat suhu lingkungan bagi *heat pipe* dikondisikan dan dijaga serendah mungkin dengan menggunakan *cooler box*. Sumber pendinginan *cooler box* dapat menggunakan *ice pack*, es batu atau menggunakan sistem pendinginan peltier yang kedua. Hasil pengujian dengan menggunakan sistem pendinginan bertingkat berhasil menurunkan suhu *cabin* dari kotak pendingin darah ke titik terendah yaitu  $-20^{\circ}\text{C}$  dengan laju pendinginan yang sangat memuaskan.



Gambar 2 Heat Pipe

## 2. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah selain untuk mengembangkan alat kotak penyimpan sampel darah portabel yang mempunyai kecepatan dan kinerja pendinginan yang sangat tinggi dengan menerapkan sistem pendinginan bertingkat, juga untuk mengetahui potensi dari penerapan sistem pendinginan bertingkat terhadap kotak pembawa sampel darah portabel, Sehingga diharapkan sistem pendinginan ini dapat digunakan untuk media pendinginan lainnya yang membutuhkan suhu yang sangat rendah.

## 3. Prototipe Kotak Pembawa Sampel Darah Portabel

Pada gambar 3 dapat dilihat desain kotak pembawa sampel darah portabel secara keseluruhan tampak lebih sederhana dibandingkan dengan desain terdahulu [9]. Kotak pembawa sampel darah portabel terdiri dari tiga bagian utama yaitu; bagian tutup, bagian kabin, dan ruang instalasi listrik. Parameter terpenting dalam desain alat, bahwa alat pembawa sampel darah ini harus mampu menjaga temperatur sampel pada keisaran  $4-6^{\circ}\text{C}$ . [14]

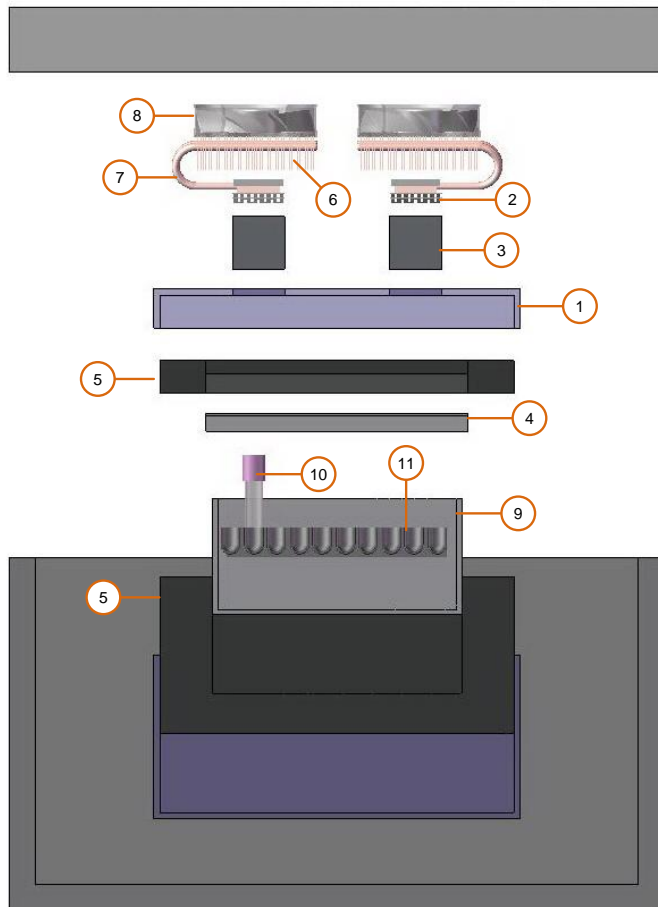
Bagian terluar dari tutup (1) digunakan material dari bahan acrylic, karna selain ringan bahan ini juga cukup kuat dan mudah dibentuk. Bahan yang sama juga digunakan untuk bagian terluar dari kabin dan ruang instalasi listrik. Sebagai sumber pendingin total digunakan empat buah peltier (2) yang disusun

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

paralel secara thermal dan seri secara kelistrikan dan diletakan bersebelahan. Antara sisi dingin peltier dan ruangan penyimpanan sampel darah terdapat dua buah *spacer blok* (3) dengan luas penampang yang sama seperti luas peltier, dan sebuah *cold sink* (4) yang berguna untuk memperlebar luas penampang sehingga proses penyerapan kalor dari ruang sampel darah menjadi lebih cepat. Untuk mengisolasi ruangan sampel darah dari udara luar, digunakan isolator dari bahan polyurethane (5). Isolator dari bahan yang sama juga digunakan pada bagian kabin. Agar diperoleh  $\Delta T$  yang besar maka sisi panas dari peltier didinginkan dengan menggunakan dua unit *heatsink* (6). *Heatsink* ini dilengkapi dengan teknologi *heatpipe* (7) agar proses transfer panas dari bagian dasar *heatsink* ke *fin*/sirip aluminium berlangsung cepat. Setiap unit *heatsink* menggunakan total empat buah *heatpipe* dan sebuah kipas DC (8) yang digunakan untuk membantu mempercepat pelepasan panas dari sirip-sirip *heatsink*.

Untuk mempercepat proses penyerapan kalor digunakan wadah (9) berbentuk kotak yang terbuat dari aluminium. Aluminium dipilih karna selain mudah dibentuk dan tahan karat material ini juga bersifat konduktor thermal, sehingga sangat baik untuk membantu proses penyerapan kalor. Sampel darah yang telah diambil diletakan didalam tube 3 ml (10) yang terbuat dari kaca atau plastik. Sebuah rak plastik (11) dengan kapasitas 50 tube ditempatkan pada wadah aluminium yang berfungsi untuk memegang tube agar selalu pada posisi vertikal.

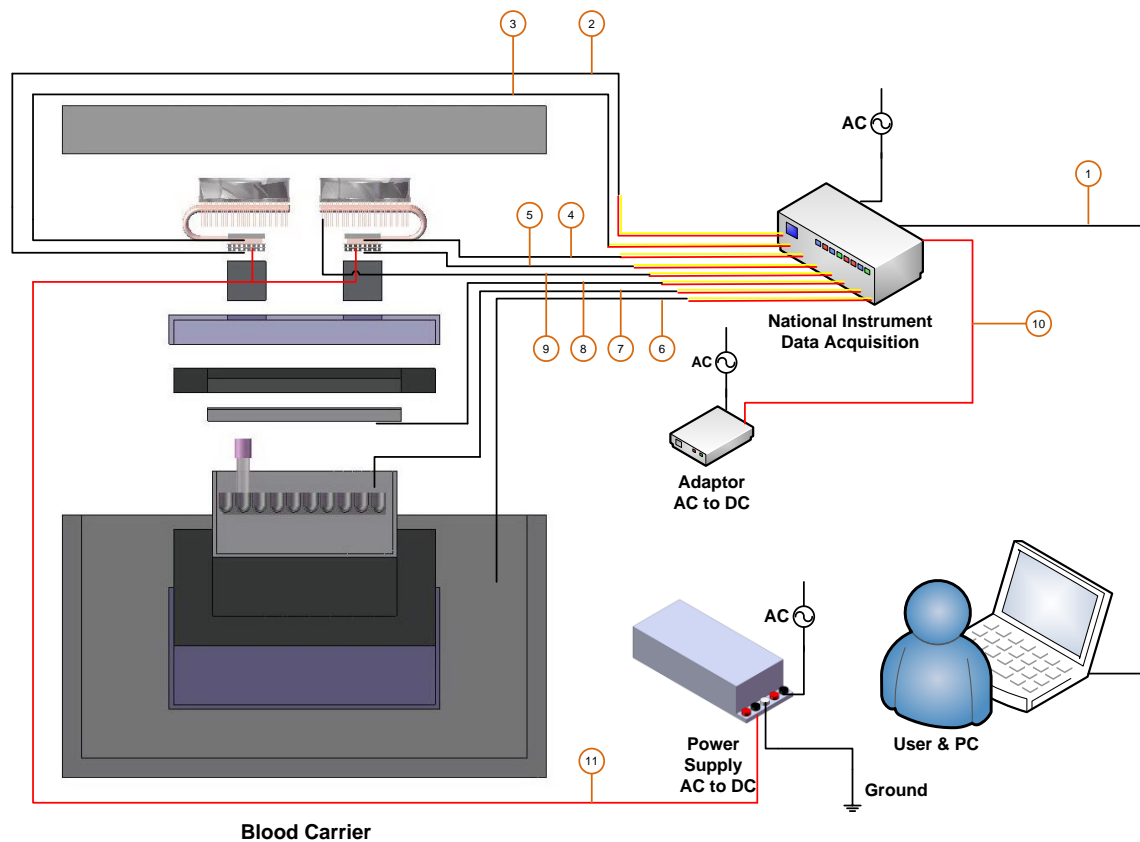


## Gambar 3 Prototipe Rancangan Kotak Pembawa Sampel Darah Portabel

### 4. Skema Pengujian

Tujuan dari pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui unjuk kerja dari kotak pembawa sampel darah portabel dengan menggunakan sistem pendinginan bertingkat ditinjau dari perubahan temperatur *cabin*, sehingga dapat diketahui perbandingan unjuk kerja desain saat ini dan desain sebelumnya. Dalam pengujian ini digunakan lemari pendingin untuk mendapatkan suhu yang lebih rendah dari temperature lingkungan.

Pada gambar 4 dapat dilihat skema alat uji yang digunakan untuk menguji kinerja prototipe kotak pembawa sampel darah portabel. Parameter utama pada pengujian ini adalah temperatur, sehingga pada prototipe dipasang beberapa termokopel tipe K antara lain pada *cabin* (Termokopel 7), lemari pendingin/*ambient* (Termokopel 6), *heatsink-heatpipe* (Termokopel 9), *cold sink* (Termokopel 8), dan empat buah termokopel untuk masing-masing sisi peltier (Termokopel 2, 3, 4, 5). Untuk mempermudah pengukuran temperatur maka keseluruhan termokopel disambung ke data akuisisi yang sudah terkoneksi dengan komputer. Satu unit *power supply* dan satu unit adaptor digunakan masing-masing sebagai sumber tenaga untuk peltier dan data akuisisi. Untuk mensimulasikan sistem pendinginan bertingkat maka digunakan sebuah lemari pendingin yang telah dinyalakan selama 24 jam tanpa beban agar diperoleh suhu konstan. Pada pengujian dilakukan pengujian pada kontak sampel darah yang diletakan pada kondisi lingkungan biasa dan di dalam lemari pendingin. Pengujian dilakukan pula dengan memberikan beban di dalam kontak sampel darah yang berupa ampul\_ampul yang berisi air yang disimulasikan sebagai darah.



**Gambar 4** Skema Pengujian

- |  |  |
|--|--|
| 1. Jalur data DAQ ke PC (USB)          | 6. Termokopel <i>cabin</i>             |
| 2. Termokopel P1 Cold                  | 7. Termokopel <i>cold sink</i>         |
| 3. Termokopel P1 Hot                   | 8. Termokopel <i>heatsink-heatpipe</i> |
| 4. Termokopel P2 Hot                   | 9. Kabel daya untuk DAQ                |
| 5. Termokopel P2 Cold                  | 10. Kabel daya untuk peltier           |
| 6. Termokopel lemari pendingin/ambient |  |

## 5. Hasil dan Analisa Pengujian

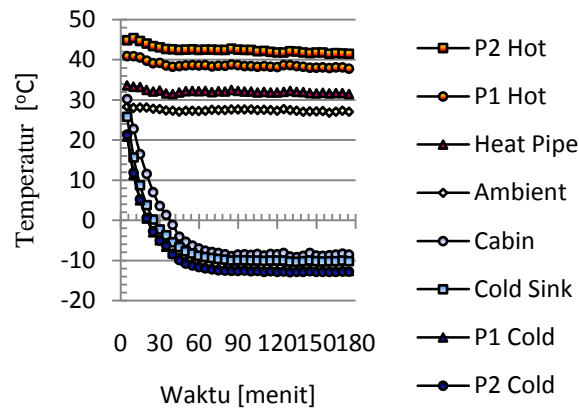
Gambar 5-8 merupakan hasil pengukuran temperatur pada titik-titik yang sudah ditentukan sebelumnya antara lain, distribusi temperatur kotak sampel darah tanpa beban pendinginan (konvensional), distribusi temperatur tanpa beban pendinginan (di dalam lemari pendingin), serta distribusi temperatur dengan beban pendinginan 50 mL, 100 mL baik di dalam lemari pendingin maupun di kondisi ambient. Selama pengujian berlangsung, *power supply* untuk peltier dan kipas diatur pada tegangan konstan yaitu 12 volt

Pada gambar 5 dapat dilihat, pendinginan tanpa beban dengan sistem pendinginan konvensional tidak terlalu memberatkan sistem. Penurunan temperatur *cabin* terlihat bersamaan dengan garis temperatur sisi dingin elemen peltier, hal ini terjadi karena pada kondisi ini kalor yang diserap relatif kecil. Tercatat

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

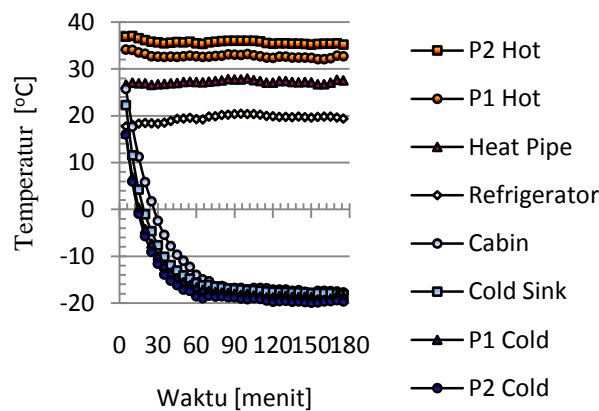
*cabin* dapat mencapai suhu 0°C pada menit 40 dan mencapai suhu paling minimum sebesar -9°C pada menit 130. Dengan temperatur ambient sekitar 29 °C



**Gambar 5** Distribusi temperatur 0 mL konvensional

Manfaat penerapan sistem pendinginan bertingkat dapat kita lihat pada gambar 6. Lemari pendingin yang digunakan berhasil menjaga suhu *heatsink-heatpipe* rata-rata pada 27,1°C dibandingkan dengan pendinginan konvensional yaitu pada 32°C, hal ini menyebabkan proses pendinginan sisi panas peltier menjadi lebih baik.

Dari grafik ini juga terlihat keunggulan sistem pendinginan bertingkat dilihat dari laju penurunan suhu *cabin* dibandingkan dengan cara konvensional. Hanya dalam waktu 30 menit, temperatur *cabin* dapat ditekan dibawah -2°C dengan pencapaian suhu paling minimum adalah -17,8°C pada menit 150, artinya perolehan suhu minimum yang dapat dicapai hampir 2x lipat lebih rendah dengan waktu hanya 1,15x lebih lama dibandingkan dengan sistem pendinginan konvensional.



**Gambar 6** Distribusi temperatur 0 mL bertingkat

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009

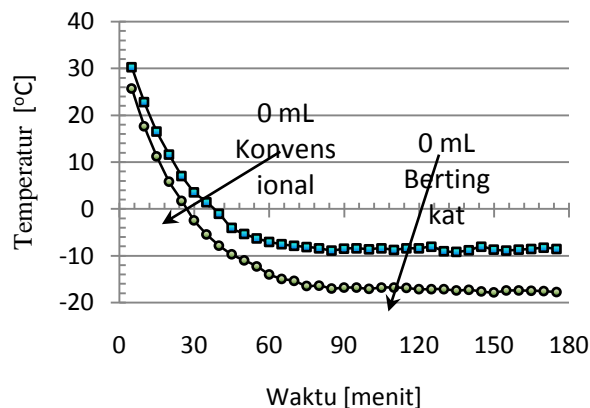
Hasil awal pada pengujian tanpa beban dengan menggunakan metode pendinginan konvensional maupun bertingkat menunjukkan bahwa desain kotak pembawa sampel darah portabel saat ini lebih baik dari pada desain terdahulu [9] dalam hal kecepatan pendinginan dan perolehan suhu minimum.

Untuk melihat lebih jelas bahwa sistem pendinginan bertingkat memiliki unjuk kerja atau *performance* yang lebih baik dari pada sistem pendinginan konvensional, dapat dilihat dari grafik perbandingan temperatur cabin pada gambar 7.

Untuk mengetahui laju pendinginan tercepat dan temperatur maksimum terendah dari masing-masing metode pendinginan maka dilakukan pengujian kosong tanpa beban pada masing-masing metode baik konvensional maupun bertingkat.

Temperatur lemari pendingin / *refrigerator* yang berkisar antara 17 – 20 °C, mampu menekan suhu sisi panas peltier menjadi 38°C saja. Hal ini membuktikan bahwa dengan semakin diturunkannya temperatur ambient bagi *heatsink-heatpipe* akan berdampak semakin turunnya temperatur sisi panas peltier.

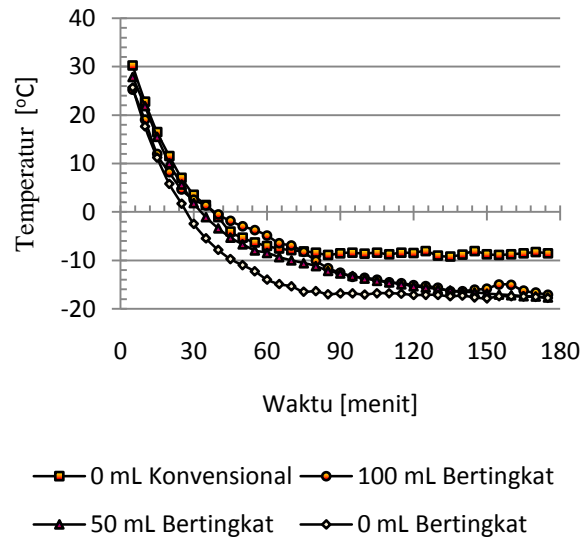
Pengaturan suhu lemari pendingin kearah yang lebih rendah tentunya akan mengasilkan penurunan suhu sisi panas peltier yang lebih rendah pula. Dapat ditarik kesimpulan bahwa pada kondisi tanpa beban, sistem pendinginan bertingkat memiliki unjuk kerja atau *performance* yang lebih baik ditinjau dari temperatur dan kecepatan pendinginan.



**Gambar 7** Variasi temperatur cabin dengan beban 0 mL konvensional dan bertingkat

Berdasarkan data pada gambar 8, terlihat bahwa penambahan beban *tube* berisi air mengurangi kecepatan penurunan temperatur ruang *cabin*. Penambahan beban sangat berpengaruh terhadap kinerja pendinginan yang dilakukan oleh *peltier*. Penambahan beban berarti penambahan jumlah kalor yang harus diserap oleh sisi dingin *peltier*. Karena *peltier* bekerja dengan prinsip  $\Delta T$ , agar proses penurunan temperatur *cabin* dapat dipercepat lagi, maka suhu pada sisi panas *peltier* perlu diturunkan serendah-rendahnya. Disinilah keunggulan penggunaan sistem pendinginan bertingkat terlihat jelas. Dengan beban terberat sekalipun sistem pendinginan bertingkat masih memiliki unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan dengan pendinginan konvensional tanpa beban.





**Gambar 8** Perbandingan unjuk kerja sistem pendinginan konvensional dan bertingkat

Pada sistem pendinginan bertingkat, penambahan beban *tube* tidak memperlihatkan selisih kecepatan pendinginan yang terlalu jauh, ini menunjukkan bahwa sistem pendinginan bertingkat sangat cocok diaplikasikan pada beban pendinginan berat maupun ringan.

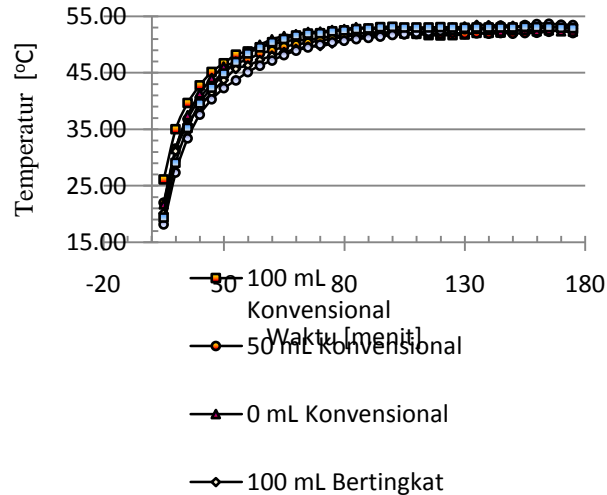
Dari grafik terlihat untuk mencapai suhu 0°C, hanya pada beban 100 mL kecepatan *cabin* berada dibelakang 0 mL (konvensional). Akan tetapi setelah melewati menit 75, pendinginan konvensional telah berada pada batasnya, sistem ini tidak mampu lagi menurunkan suhu *cabin* dibawah -10°C. Berbeda dengan pendinginan bertingkat yang masih dapat turun kearah -18°C.

### Coefficient of Performance (COP) Peltier

Peltier berkerja berdasarkan prinsip  $\Delta T$ , dari kenaikan dan penurunan  $\Delta T$  nilai COP peltier dapat diketahui dengan menggunakan persamaan :

$$COP = \left( \frac{T_{ave}}{\Delta T} \right) \left[ \frac{\left( (1 + Z \cdot T_{ave})^{\frac{1}{2}} - 1 \right)}{\left( (1 + Z \cdot T_{ave})^{\frac{1}{2}} + 1 \right)} \right] - \frac{1}{2}$$

(Sumber : <http://www.melcor.com/formula.html>)



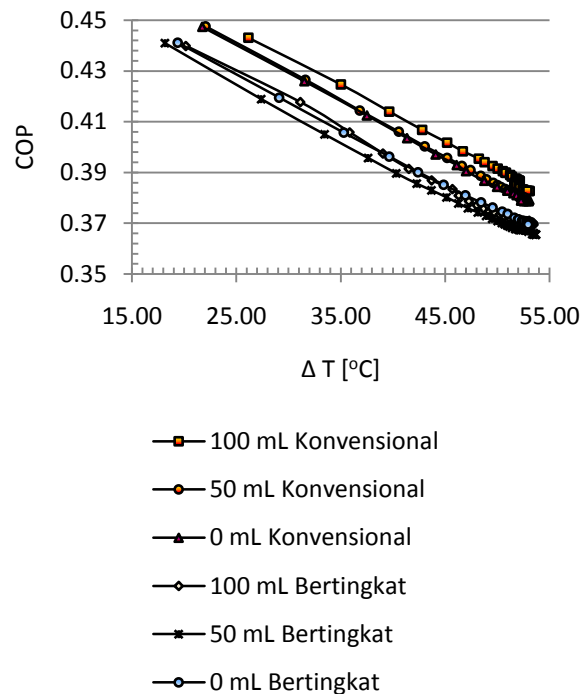
**Gambar 9** Variasi perubahan  $\Delta T$  peltier

Perubahan  $\Delta T$  menurut waktu ditunjukkan pada gambar 9, dari grafik dapat diketahui bahwa perubahan  $\Delta T$  terbesar dimulai dari awal pengujian hingga menit ke 60, setelahnya perubahan  $\Delta T$  cenderung konstan. Apabila dihubungkan dengan grafik-grafik distribusi dan variasi temperatur sebelumnya, trend grafik  $\Delta T$  seperti ini terjadi akibat penurunan suhu yang sangat cepat pada sisi dingin peltier, berbeda pada sisi panasnya yang kenaikan dan penurunan suhunya cenderung konstan yaitu berkisar  $1^{\circ}\text{C}$  hingga  $5^{\circ}\text{C}$  saja. Perubahan  $\Delta T$  memberikan trend yang sama, baik dengan menggunakan sistem pendinginan konvensional maupun dengan sistem pendinginan bertingkat.

Hal ini menunjukkan bahwa *heatsink-heatpipe* bekerja dengan baik dalam menyerap kalor pada sisi panas elemen peltier. Kualitas *heatsink-heatpipe* yang digunakan untuk mendinginkan sisi panas peltier sangat menentukan perolehan  $\Delta T$ , seperti diketahui sebelumnya bahwa peltier datang dengan  $\Delta T$  bawaan yang tetap. Dengan kata lain dengan semakin diturunkannya suhu pada sisi panas peltier maka akan didapatkan pula penurunan suhu pada sisi dinginnya.

Dari gambar 10, dapat dilihat perubahan COP terhadap  $\Delta T$ . Grafik menunjukkan semakin besar  $\Delta T$  antara sisi panas dan dingin peltier, maka semakin kecil COP yang diperoleh. Pada awal pengujian hingga menit ke 60 kalor yang dipompa atau diserap oleh sisi dingin peltier sangat besar, kemudian kalor yang diserap semakin kecil oleh karena suhu *cabin* yang semakin turun pula, sedangkan energi listrik yang diberikan ke peltier selalu tetap.

Hal ini yang menyebabkan mengapa grafik pada awal pengujian perolehan COP sangat besar, sedangkan setelah menit ke 60 COP menunjukkan penurunan, karena memang setelah menit ke 60 sudah sedikit sekali kalor yang dapat di pompa atau diserap dari dalam *cabin*.



**Gambar 9** Variasi perubahan COP Peltier

## 6. Kesimpulan.

Setelah dilakukan serangkaian pengujian dan analisis maka dapat ditarik kesimpulan, bahwa secara garis besar kotak pembawa sampel darah portabel yang menggunakan sistem pendinginan bertingkat memiliki laju pendinginan yang tinggi dan pencapaian temperatur terendah dibandingkan dengan sistem pendinginan konvensional. Akan tetapi nilai COP masih rendah.

## Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada DRPM UI atas pembiayaan riset ini melalui skema RUUI 2007.

## Referensi

- [1] Azrul Azwar, "Kecenderungan Masalah Gizi dan Tantangan di Masa Depan" Pertemuan advokasi Program Perbaikan Gizi Menuju Keluarga sadar Gizi, Jakarta 27 September 2004.
- [2] Reiyu Chein, Guanming Huang, "Electronic cooler application in Electronic cooling", *Journal of Applied Thermal Engineering*, 24 (2004) 2207-2217.
- [3] D. Astrain, J.G. Vian, M. Dominguez, "Increase of COP in the thermoelectric refrigeration by the optimization of heat dissipation", *Journal of Applied Thermal Engineering*, 23 (2003) 2183-2200.
- [4] S.B. Riffat, Xiaoli Ma (2003). "Thermoelectric: a review of present and potential applications". *Journal of Applied Thermal Engineering*, 23 (2003) 913-935.
- [5] S.B. Riffat, Guoquan Qiu (2004). "Comparative investigation of thermoelectric air-conditioners versus vapour compression and absorption air conditioners". *Journal of Applied Thermal*

# Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin (SNTTM) VIII

*Universitas Diponegoro, Semarang 11-12 Agustus 2009*

- Engineering*, 24 (2004) 1979-1993.
- [6] S.B. Riffat, S.A. Omer, Xiali Ma (2001). "A novel thermoelectric refrigeration system employing heat pipes and a phase change material: an experience investigation". *Journal of Renewable Energy*, 23 (2001) 313-323.
- [7] D. Astrain, J.G. Vian, M. Dominguez (2003). "Increase COP in the thermoelectric refrigeration by the optimization of heat dissipation". *Journal of Applied Thermal Engineering*, 23 (2003) 2183-2200.
- [8] Raldi Artono Koestoer, Hari Fitrianto, Kinerja termostat analog bimetal pada pengendalian temperatur air dapa delta box dengan elemen peltier sebagai pompa kalor, Seminar nasional Tahunan Teknik Mesin III, Universitas Hasanuddin, Makassar 6-7 Desember 2004, ISBN 979-97158-0-6.
- [9] Nandy Putra, Hiban, Parlin, Ferdiansyah, The Development of Portable Blood Carrier by Using Thermoelectric and Heatpipe, *The 10<sup>th</sup> International Conference on Quality in Research (QIR)*, 4-6 December 2007, Universitas Indonesia, Depok, Indonesia.
- [10] N. Putra, "Design, manufacturing and testing of a portable vaccine carrier box employing thermoelectric module and heat pipe", *Journal of Medical Engineering & Technology*, 1464-522X, Volume 33, Issue 3, 2009, Pages 232 – 237
- [11] Nandy et.al, "Pemanfaatan Elemen Peltier Bertingkat Dua Pada Aplikasi Kotak Vaksin", SNTTM IV, Bali, 2005.
- [12] Nandy Putra, Uji Unjuk Kerja Kotak Vaksin berbasis Elemen Peltier Ganda, Seminar Nasional Perkembangan Riset dan Teknologi di Bidang Industri Universitas Gajah Mada Yogyakarta, 27 Juni 2006. ISBN 979-99266-1-0
- [13] Nandy Putra, Haryo Tedjo, RA Koestoer, Pemanfaatan Elemen Peltier Bertingkat dua pada aplikasi Kotak Vaksin, *Prosiding Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin IV*, 21-22 November 2005, ISBN 979-97158-0-6, Universitas Udayana, Bali, Indonesia.
- [14] "The blood cold chain: guide to the selection and procurement of equipment and accessories" Departement of blood safety and clinical technology, World Health Organization, Geneva.