

## KONSERVASI ENERGI PADA BTS (BASE TRANSCEIVER STATION) MENGUNAKAN SISTEM PENDINGIN ARUS SEARAH (DC COOLER)

Oleh:

Joessianto Eko Poetro

M. Basuki Rahmat

Dosen Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

e-mail: joessianto@yahoo.com ; mbasuki.rahmat@gmail.com

**Abstrak:** Dalam Sistem Telekomunikasi Seluler peranan BTS sangat vital. Tanpa ada BTS maka pelanggan seluler tidak dapat menikmati layanan komunikasi dengan baik, karena BTS inilah yang menerima dan memancarkan sinyal komunikasi ke pelanggan. Pemakaian yang terus menerus akan menimbulkan panas pada system peralatan BTS. Demikian juga panas dari radiasi matahari dapat juga mempengaruhi kinerja dan umur peralatan BTS. Untuk itu diperlukan sistem pendingin yang mampu mendinginkan sehingga dapat mengurangi akumulasi panas serta mampu meningkatkan kinerja dan umur peralatan BTS. Sebagaimana diketahui bahwa system pendingin BTS menyerap hampir setengah dari konsumsi energi listrik BTS.

**Kata Kunci:** BTS, DC Cooler

BTS (Base Transceiver Station) merupakan komponen jaringan telekomunikasi seluler yang berhubungan langsung dengan pelanggan, yang merupakan perangkat interface antara pelanggan dan MSC (*Mobile Switching Centre*) dan berfungsi sebagai penerima dan pemancar gelombang radio.

Pada umumnya suatu peralatan BTS (BTS Equipment) membutuhkan energi listrik arus searah secara kontinyu. Peralatan ini biasanya diletakkan dalam suatu rumah tertutup (*shelter*) yang dilengkapi pendingin ruangan (AC). Peralatan pendingin ini biasanya memerlukan daya listrik arus bolak balik dengan kapasitas sama dengan BTS. Selain itu masih ada fan dan lampu. Dari jumlah itu, hampir setengahnya (45%) dipakai untuk mendinginkan ruangan.

Dalam pengoperasian BTS, salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja BTSE (peralatan BTS) adalah panas. Akumulasi

panas dapat berasal dari lingkungan sekitar seperti radiasi matahari dan dari BTSE sendiri, yaitu: panas yang dihasilkan oleh rectifier, baterai, peralatan radio, dll.

Agar kinerja peralatan BTS meningkat dan *lifetime* bertambah lama, maka diperlukan suhu yang relatif kecil. Selama ini pendinginan di dalam ruangan dilakukan oleh air conditioner (AC) dengan sistem kompresi. Tetapi sistem tersebut membutuhkan kompresor yang memerlukan energi besar. Disamping itu AC memerlukan pemeliharaan rutin seperti penggantian refrigeran atau lainnya.

Sedangkan pendinginan BTS outdoor yang hanya digunakan fan tidak bisa menurunkan suhu dibawah suhu lingkungan. Ini dikarenakan udara yang didistribusikan dalam kabin BTSE adalah udara luar. Hal ini dapat diatasi dengan menggunakan sistem pendingin arus searah (*dc cooler*),

karena dapat menurunkan suhu dibawah suhu luar/lingkungan seperti halnya AC.

Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan upaya konservasi energi pada BTS, dengan merancang alternatif sistem pendingin ruangan dengan teknologi termoelektrik. Hal ini dilakukan dengan memodifikasi *dc cooler* yang sudah ada. Dalam penelitian ini modifikasi dilakukan dengan mengganti *casing* dan *fan* pada sisi dingin dan mengganti *heatsink* pada sisi panas.

Disamping itu juga untuk mengetahui kinerja *dc cooler* dalam mendinginkan kabin melalui pengujian. Dan dengan menghitung COP (*Coefficient of Performance*) semua *dc cooler*, kinerja dan COP dari *dc cooler* modifikasi dibandingkan dengan *dc cooler* semula. Sehingga *dc cooler* modifikasi yang paling efisien dan hemat energi dapat ditentukan.

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi pada sistem pendinginan untuk BTS *outdoor*. Pada penelitian ini akan dilakukan upaya peningkatan efisiensi atau COP dengan melakukan modifikasi pada *dc cooler*. Modifikasi dibatasi pada perubahan *heatsink* pada sisi panas dengan variasi *heatsink extrude* dan *heatsink slot*. Dan pada sisi dingin dengan variasi *casing pendek* dan *casing panjang*, serta variasi *fan besar* dan *fan kecil*. Pengujian terhadap prototip *dc cooler* hasil modifikasi dilakukan dalam kabin baterai.

## LANDASAN TEORI

### Perpindahan Kalor

Bila pada suatu sistem terdapat gradien suhu atau bila dua sistem yang suhunya berbeda disinggungkan, maka otomatis kalor akan mengalir dari

benda/sistem yang bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah. Jadi perpindahan kalor dapat didefinisikan sebagai berpindahnya energi dari suatu benda yang bersuhu tinggi (memiliki energi yang besar) ke benda yang bersuhu rendah (memiliki energi yang kecil). Kalor akan berhenti berpindah bila kedua benda mencapai suhu yang sama (tercapai kesetimbangan termal). Proses perpindahan kalor ini berlangsung dengan cara: konduksi, konveksi, dan radiasi.

### Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor melalui medium (zat perantara) tanpa disertai dengan perpindahan partikel-partikel medium tersebut. Perpindahan kalor secara konduksi biasanya terjadi pada zat padat, seperti logam, dan sebagainya. Dalam aliran kalor konduksi, perpindahan energi terjadi karena hubungan kalor secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar.[1] Jadi konduksi ialah pemindahan kalor akibat kontak langsung antara benda-benda.

Laju aliran kalor dengan cara konduksi melalui dinding datar dari suatu bahan yang homogen diusulkan oleh Fourier yang menyatakan bahwa:[1]

$$q_k = -k A \frac{\Delta T}{\Delta x} = -k A \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \quad (1)$$

$q_k$  = Laju perpindahan kalor konduksi (W)

$k$  = Konduktivitas termal bahan (W/m K)

$A$  = Luas penampang tegak lurus terhadap arah aliran kalor (m<sup>2</sup>)

$\Delta x$  = Jarak dalam arah aliran kalor (m)

$\Delta T$  = Beda suhu (K)

$T_1$  = Suhu yang lebih tinggi (K)

$T_2$  = Suhu yang lebih rendah (K)

Nilai minus (-) dalam persamaan diatas menunjukkan bahwa kalor selalu berpindah ke arah suhu yang lebih rendah.

Mekanisme perpindahan energi secara konduksi dapat terjadi dengan cara melalui tumbukan molekul (dalam fluida) dan/atau dengan angkutan melalui elektron-elektron yang bergerak bebas (dalam zat padat).

### Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor melalui medium dan disertai dengan perpindahan atau gerakan partikel-partikel medium tersebut. Konveksi merupakan proses angkutan energi dengan kerja gabungan dari konduksi, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Keefektifan perpindahan kalor secara konveksi tergantung sebagian besar pada gerakan mencampur fluida. Gerakan inilah yang menyebabkan adanya transfer energi. Perpindahan kalor secara konveksi biasa terjadi pada fluida (zat cair dan gas). Jadi pemindahan kalor berdasarkan gerakan fluida disebut konveksi.

Laju perpindahan kalor dengan cara konveksi antara suatu permukaan benda padat dan suatu fluida dapat dihitung dengan hukum Newton tentang pendinginan, yaitu:[1]

$$q_c = h A \Delta T = h A (T_s - T_\infty) \quad (2)$$

$q_c$  = Laju perpindahan kalor konveksi (J/s = watt)

$h$  = Koefisien perpindahan kalor konveksi ( $W/m^2 K$ )

$A$  = Luas permukaan perpindahan kalor yang menyinggung fluida ( $m^2$ )

$\Delta T$  = Beda suhu menyeluruh antara permukaan dan fluida (K)

$T_s$  = Suhu permukaan (K)

$T_\infty$  = Suhu fluida (K)

Perpindahan kalor konveksi dapat dibagi menjadi dua, yaitu konveksi bebas (alami) dan konveksi paksa. Konveksi alami terjadi apabila pergerakan fluida dikarenakan gaya apung akibat perbedaan kerapatan fluida tersebut akibat perbedaan suhu. Sedangkan pada konveksi paksa pergerakan fluida terjadi akibat gaya luar seperti kipas (*fan*) atau pompa.

### Termoelektrik (Elemen Peltier)

Elemen peltier memiliki peranan yang paling vital, sebagai pompa kalor yang merupakan elemen utama sistem pendingin arus searah (dc cooler). Termoelektrik merupakan komponen semikonduktor Bismut Telluride yang dapat menghasilkan efek dingin dan panas. Jika sebuah elemen peltier dialiri arus listrik DC maka kedua sisi elemen ini akan menjadi panas dan dingin. Sisi dingin inilah yang dimanfaatkan sebagai pendingin ruangan dengan bantuan heatsink dan fan.



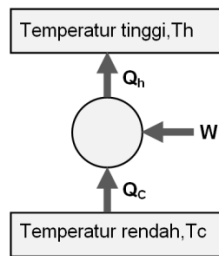
Gambar 1 Susunan Termoelektrik

Dalam pembuatan dc cooler ini menggunakan delapan buah termoelektrik (elemen Peltier) dengan ukuran 40 x 40 x 3,8 mm. Untuk setiap termoelektrik membutuhkan tegangan masukan 12 VDC dengan daya 72 watt. Penggunaan delapan termoelektrik ini dilakukan dengan

pertimbangan agar beban kalor yang dapat dipindahkan menjadi lebih besar, karena luas permukaan perpindahan kalornya lebih besar.

**Kalor dan Usaha**

Pompa kalor (refrigerator, AC) adalah peralatan pendinginan ruangan yang berfungsi untuk menyerap kalor/panas  $Q_c$  dari dalam ruangan (eksterior) dan melepaskan panas  $Q_h$  di luar ruangan (eksterior). Ini hanya mungkin terjadi bila ada usaha  $W$  atau daya  $P_{in}$  yang dilakukan pada sistem, seperti terlihat pada Gambar 2.



**Gambar 2 Blok Diagram Sistem Pendingin**

Membandingkan kerja suatu sistem pendingin (pompa kalor) berarti bukan membicarakan efisiensi, namun koefisien kinerja/performa (COP). Secara luas mengandung arti sama, yaitu seberapa baik kinerjanya dibandingkan dengan usaha yang dilakukan. COP adalah rasio seberapa besar energi kalor yang bisa dipindahkan dibandingkan dengan kerja (energi) yang diberikan. Semakin besar kalor yang dapat dipindahkan dengan sejumlah energi demikian, maka COP semakin tinggi, dan semakin hemat sistem tersebut.

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} \quad (3)$$

$Q_c$  = Kalor yang dipindahkan (watt)  
 $P_{in}$  = Daya masukan sistem pendingin (watt)

**METODE PENELITIAN**

1. *Studi literature* perihal sistem pendingin pada BTS (Base Transceiver Station) dan penggunaan teknologi termoelektrik sebagai pendingin (dc cooler).
2. Merancang prototip dc cooler dengan memodifikasi dc cooler dengan variasi casing, fan, dan heatsink untuk memperoleh prototip yang paling efisien.
3. Selanjutnya prototip tersebut diuji untuk mengetahui kinerjanya dalam mendinginkan kabin baterai.
4. Kemudian melakukan analisis perbandingan grafik pendinginan kabin dan COP (Coefficient Of Performance) terhadap *dc cooler* semula.
5. Menarik kesimpulan dari penelitian ini berdasarkan hasil analisis data

**Rancang Bangun DC Cooler Dasar Pemikiran**

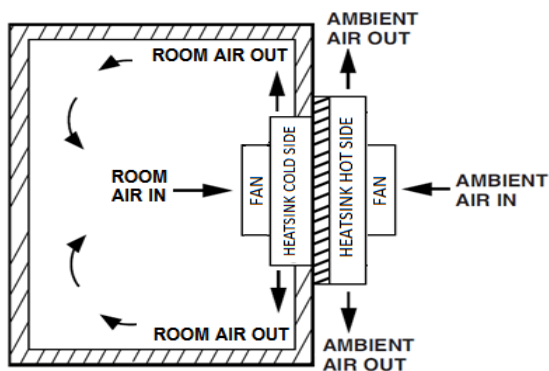
Dasar pemikiran dari perancangan sistem pendingin ruangan arus searah (*dc cooler*) adalah mencari alternatif sistem pendingin ruangan selain sistem kompresi uap sebagai upaya konservasi energi. Dengan adanya pendinginan tersebut, ruangan kabin BTSE berada pada suhu normal ( $\pm 25$  °C) sehingga kinerja baterai dan peralatan BTS lainnya dapat meningkat dan umurnya lebih tahah lama.

Dibandingkan dengan teknologi kompresi uap yang masih menggunakan refrigeran sebagai media penyerap kalor, teknologi pendingin termoelektrik relatif lebih ramah lingkungan, karena tidak menggunakan refrigeran seperti freon. Selain itu alasan pemilihan termoelektrik antara lain: konsumsi daya rendah dengan respon pendinginan yang cepat, mudah diaplikasikan pada peralatan yang sudah ada

karena dimensi kecil dan ringan, mudah perawatannya, minim getaran/vibrasi sehingga cocok untuk pendingin peralatan yang sensitif terhadap getaran mekanis

**Cara Kerja DC Cooler**

Untuk mendinginkan suatu ruangan, dc cooler dapat dipasang seperti terlihat pada Gambar 3. Adapun cara kerja dc cooler dalam mendinginkan kabin BTSE dapat dijelaskan sebagai berikut. Pada saat catu daya tegangan searah dihubungkan, elemen Peltier mulai bekerja, sehingga heatsink sisi dingin mulai menjadi dingin, dan heatsink sisi panas menjadi panas.



**Gambar 3 Cara Kerja Pendinginan oleh DC Cooler**

Pada bagian dalam ruangan, udara dalam ruangan disedot masuk oleh fan sisi dingin dan ditekan agar melewati sirip-sirip heatsink sisi dingin. Udara yang keluar dari heatsink sisi dingin ini mempunyai suhu lebih rendah dari pada udara ruangan yang masuk. Proses ini terjadi berulang-ulang secara terus menerus hingga ruangan menjadi lebih dingin mendekati suhu heatsink sisi dingin.

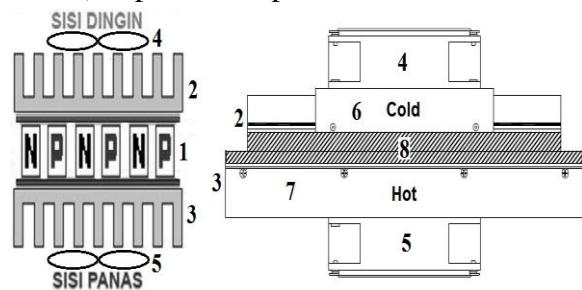
Pada bagian luar ruangan, udara lingkungan disedot masuk oleh fan sisi panas dan ditekan agar melewati sirip-sirip heatsink sisi panas. Udara yang keluar dari heatsink sisi panas ini mempunyai suhu

lebih tinggi dari pada udara lingkungan yang masuk. Proses ini terjadi berulang-ulang secara terus menerus, hingga suhu heatsink sisi panas mendekati suhu lingkungan.

**Desain dan Komponen DC Cooler**

Bagian yang akan didinginkan dapat langsung dihubungkan dengan sisi dingin elemen peltier atau dapat juga dihubungkan melalui alat penukar kalor, seperti heatsink. Sedangkan kalor yang dihasilkan pada sisi panas elemen peltier juga dapat disalurkan ke lingkungan melalui alat penukar kalor juga, baik secara alami maupun konveksi paksa.

Susunan dasar sistem pendingin arus searah (dc cooler) terdiri dari beberapa komponen utama seperti: elemen peltier, heatsink baik pada sisi panas elemen peltier maupun pada sisi dingin, dan dc fan juga pada sisi panas dan dingin. Adapun susunan dan konstruksi pendingin arus searah (dc cooler) dapat dilihat pada Gambar 4.



**Gambar 4 Susunan dan Konstruksi dc Cooler**  
 Keterangan: 1) Termoelektrik; 2) Heatsink dingin; 3) Heatsink panas; 4) Fan dingin; 5) Fan panas; 6) Casing dingin; 7) Casing panas; 8) Isolator

**Dasar Modifikasi Kinerja Sistem Pendingin**

Berdasarkan persamaan (3), koefisien kinerja (COP) sistem pendingin adalah perbandingan antara panas yang diambil/dipindahkan dari ruang dingin dengan pemakaian usaha.

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}}$$

$Q_c$  = Kalor yang dipindahkan (watt)

$P_{in}$  = Daya input sistem pendingin (watt)

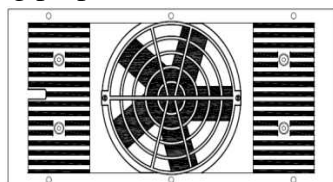
Jadi, untuk meningkatkan COP dapat dilakukan dengan menaikkan jumlah kalor yang dapat dipindahkan dan mengurangi energi yang diserap. Untuk tujuan ini, kemungkinan modifikasi yang dilakukan dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut.

### Casing

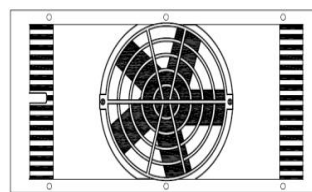
Disamping sebagai tempat dudukan fan dan mengarahkan aliran udara, berdasarkan persamaan perpindahan kalor konveksi (2), penggunaan casing ditujukan untuk memperbesar luas permukaan perpindahan kalor ( $A$ ).

$$q_c = h A \Delta T.$$

Casing yang digunakan untuk menutupi heatsink pada dc cooler awal ini masih pendek, karena tidak menutupi seluruh permukaan heatsink. Hal ini mengakibatkan hembusan udara dari dc fan tidak seluruhnya menyinggung permukaan heatsink (luas permukaan perpindahan kalor berkurang). Berdasarkan persamaan perpindahan kalor diatas, maka ntuk meningkatkan laju perpindahan kalor dapat dilakukan dengan mengarahkan hembusan udara agar seluruhnya menyinggung permukaan heatsink. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan casing panjang, agar luas bidang perpindahan kalor meningkat.



Gambar 5 DC Cooler Casing Pendek



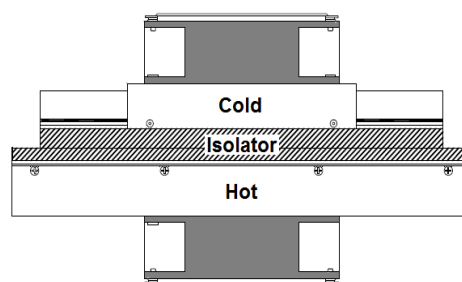
Gambar 6 DC Cooler Casing Panjang

Dalam penelitian ini akan diuji bagaimana kinerja dc cooler yang menggunakan casing pendek dibandingkan dengan dc cooler yang menggunakan casing panjang.

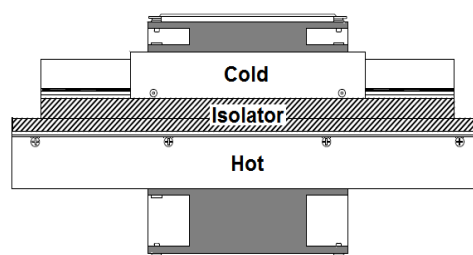
### Kipas Arus Searah (DC Fan)

Untuk mengoptimalkan proses pelepasan kalor, tidak cukup hanya dengan konveksi alami mengingat tingginya suhu yang dihasilkan oleh sisi panas termoelektrik. Maka dari itu digunakan metode konveksi paksa dengan menggunakan *dc fan*.

Salah satu komponen dc cooler yang menyerap energi listrik adalah dc fan. Oleh karena itu, untuk meningkatkan efisiensi sistem pendingin dc cooler ini dapat dilakukan dengan menggunakan dc fan yang mempunyai daya lebih kecil.



Gambar 7 DC Cooler Fan Besar



Gambar 8 DC Cooler Fan Kecil

Dalam penelitian ini akan diuji bagaimana kinerja dc cooler yang menggunakan fan besar dibandingkan dengan dc cooler yang menggunakan fan kecil.

## PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

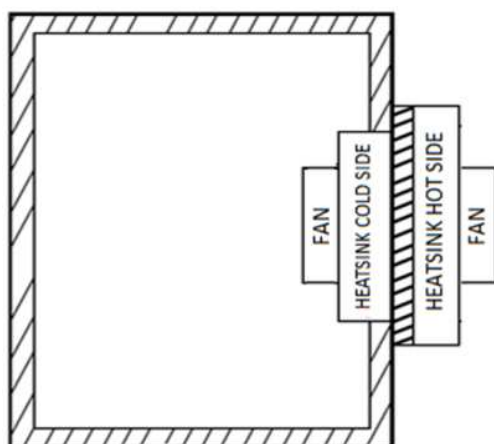
### Tujuan dan Variasi Pengujian

Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan data-data yang diperlukan, seperti tegangan dan arus masukan dan perubahan suhu kabin untuk mengetahui kinerja dc cooler. Pengujian dc cooler dilakukan pada kabin baterai BTS yang berukuran 70 x 70 x 70 cm. Pengujian ini akan dilakukan terhadap berbagai variasi prototipe dc cooler yang sudah dirancang sebelumnya, yaitu:

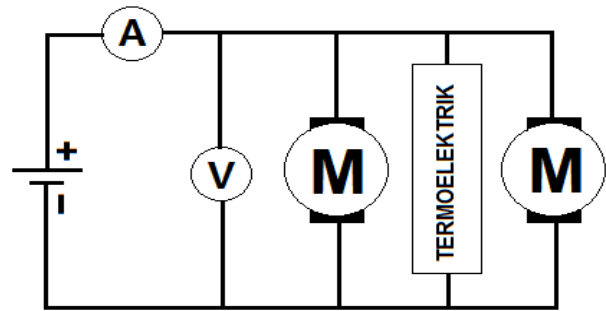
1. Casing pendek dan fan besar (dc cooler awal)
2. Casing panjang dan fan besar
3. Casing pendek dan fan kecil
4. Casing panjang dan fan kecil

### Instalasi dan Rangkaian Pengujian

DC cooler yang akan diuji dipasang pada kabin dan dirangkai seperti terlihat pada pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9 Pemasangan DC Cooler Pada Kabin



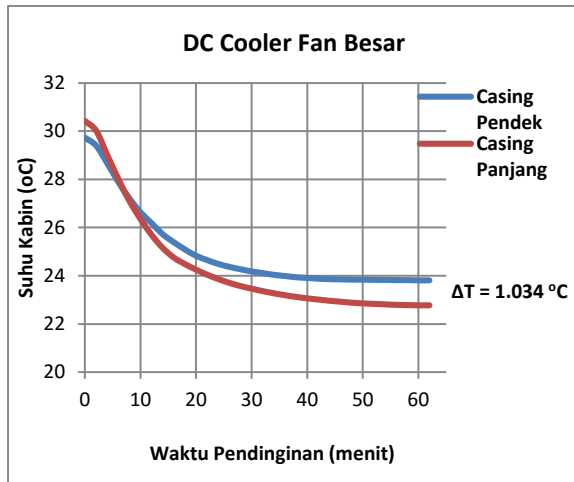
Gambar 10 Rangkaian Pengujian

### Prosedur Pengujian

Pada pengujian prototipe ini, tegangan yang diberikan adalah sebesar 48 volt, sama dengan tegangan catu daya yang tersedia di BTS. Setelah prototipe selesai dirakit sesuai dengan variasinya dilakukan pengujian dengan prosedur sebagai berikut: Memasang prototipe pada pintu kabin baterai; Menempatkan termometer *Microlite data logger temperature* di dalam dan di luar kabin; Pintu kabin ditutup dengan rapat; Setelah 5 menit power supply dihidupkan sehingga sistem bekerja; Catat waktu, besar tegangan supply dan arus yang mengalir ke sistem; Setelah suhu kabin tidak mengalami penurunan yang berarti atau setelah 60 menit, *dc power supply* dimatikan; Data yang tercatat dalam *Microlite data logger temperature* dipindahkan dan disimpan ke komputer; Mengulangi prosedur untuk melakukan pengujian terhadap prototipe dc cooler variasi yang lain.

### Analisis Perbandingan Pendinginan Kabin

DC cooler dengan casing panjang mempunyai kecepatan pendinginan lebih besar (grafik lebih curam) dibandingkan dengan dc cooler dengan casing pendek. Setelah mencapai keadaan tunak (*steady state*), dc cooler yang memakai fan besar dan casing panjang menghasilkan beda suhu



Gambar 11 Grafik Penurunan Suhu Kabin Oleh DcCooler Heatsink Extrude Fan Besar

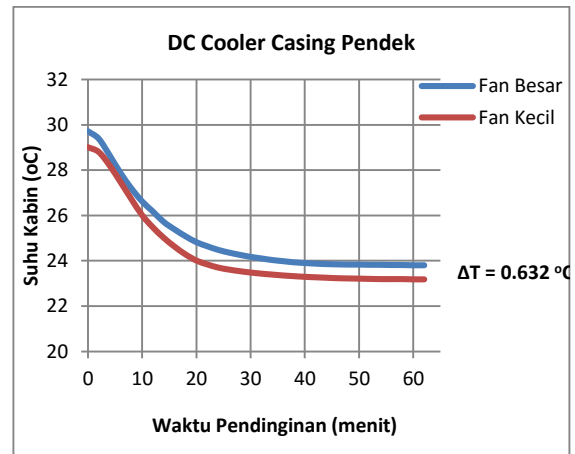
rata-rata yang lebih rendah ( $\Delta T = 1.034 \text{ }^\circ\text{C}$ ) apabila dibandingkan dengan dc cooler awal yang memakai fan kecil casing pendek. Jadi grafik di atas menunjukkan bahwa prototipe dc cooler dengan casing panjang dan fan besar pada sisi dingin mempunyai kinerja yang lebih baik dibandingkan dc cooler awal yang memakai casing pendek dan fan besar.

Hal ini dikarenakan casing panjang yang menutupi permukaan heatsink lebih luas dapat mengarahkan aliran udara ke permukaan heatsink yang lebih luas. Karena luas bidang perpindahan kalor ( $A$ ) lebih besar, maka berdasarkan persamaan (2), maka laju aliran kalor yang dibuang dari kabin lebih besar, sehingga suhu dalam kabin lebih rendah.

$$q_c = h A \Delta T$$

Dari Gambar 12 dapat dilihat bahwa dc cooler modifikasi yang memakai casing pendek dan fan kecil mampu mendinginkan kabin dengan lebih baik. Setelah mencapai keadaan tunak, dc cooler yang memakai casing pendek dan fan kecil ini menghasilkan beda suhu rata-rata yang lebih rendah ( $\Delta T = 0.632 \text{ }^\circ\text{C}$ ) apabila

dibandingkan dengan dc cooler awal yang memakai fan kecil casing pendek. Jadi grafik di atas menunjukkan bahwa prototipe dc cooler yang memakai casing pendek dan fan kecil mempunyai kinerja yang lebih baik apabila dibandingkan dengan kinerja dc cooler awal yang memakai casing pendek dan fan besar.



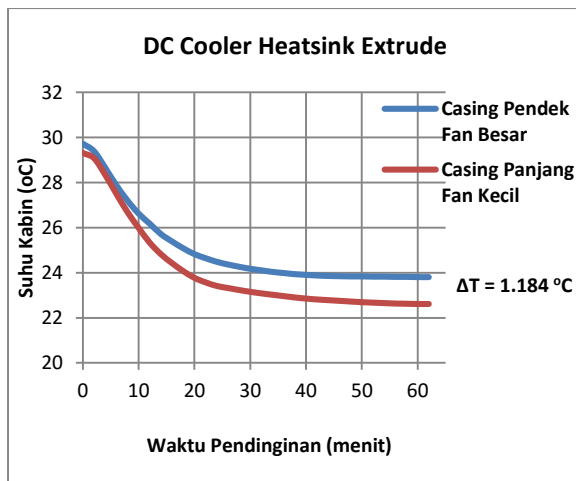
Gambar 12 Grafik Penurunan Suhu Kabin Oleh DC Cooler Heatsink Extrude Casing Pendek

Berdasarkan persamaan (2), fan kecil dengan kecepatan aliran udara yang lebih rendah ( $h$  kecil), maka seharusnya kecepatan pendinginannya lebih kecil dan menghasilkan suhu kabin yang lebih tinggi atau naik. Tetapi hal ini berlawanan dengan hasil pengujian seperti yang ditunjukkan dalam grafik di atas. Meskipun fan kecil menghasilkan aliran udara lebih lambat dan menyebabkan koefisien konveksi lebih kecil, serta laju aliran kalor yang dibuang dari kabin lebih lambat, tetapi suhu kabin justru turun.

Hal ini dikarenakan adanya efek pemanasan yang dihasilkan oleh fan, dimana panas yang dihasilkan fan ini akan meningkatkan suhu kabin. Panas ini timbul sebagai akibat adanya rugi-rugi daya pada motor listrik arus searah yang terdiri dari



rugi-rugi tembaga ( $I^2R$ ), dan rugi-rugi gesekan antara rotor dengan bantalannya. Daya motor yang lebih kecil akan mempunyai rugi-rugi yang lebih kecil juga dan menghasilkan efek pemanasan yang juga lebih kecil. Sehingga penggunaan dc fan dengan daya lebih kecil akan menghasilkan panas yang lebih kecil, akibatnya kenaikan suhu kabin juga lebih kecil, sehingga penurunan suhu kabin lebih besar dibandingkan dengan pemakaian dc fan dengan daya yang lebih besar.



Gambar 13 Grafik Penurunan Suhu Kabin oleh DC Cooler Heatsink Extrude

Dari Gambar 13 dapat dilihat bahwa dc cooler prototipe yang memakai casing panjang fan kecil pada sisi dingin menghasilkan suhu kabin yang lebih rendah ( $\Delta T = 1.184 \text{ }^\circ\text{C}$ ) apabila dibandingkan dengan dc cooler awal yang memakai casing pendek dan fan besar. Prototipe ini tidak lain merupakan kombinasi dengan mengambil keuntungan dari dua prototipe sebelumnya, yaitu dc cooler yang memakai casing panjang (dari Grafik 1) dan dc cooler yang memakai fan kecil (dari Grafik 2).

Dari ketiga grafik di atas dapat diambil kesimpulan bahwa pencapaian suhu kabin terendah dapat diperoleh pada

prototipe dc cooler extrude yang memakai casing panjang dan fan kecil. Prototipe dc cooler ini mampu mendinginkan kabin sekitar satu derajat lebih rendah dibandingkan dengan dc cooler awal yang memakai casing pendek dan fan besar.

Dan dari ketiga grafik di atas juga dapat ditarik kesimpulan, bahwa kinerja pendinginan kabin paling baik didapatkan pada prototipe dc cooler dengan heatsink extrude yang memakai casing panjang yang menutupi seluruh permukaan heatsink dan fan kecil pada sisi dingin, dengan penurunan suhu kabin sebesar  $1.184 \text{ }^\circ\text{C}$ , bila dibandingkan dengan dc cooler awal.

### Analisis Perbandingan COP

Membandingkan kerja suatu sistem pendingin, berarti membicarakan koefisien performa (COP). COP adalah rasio seberapa besar energi kalor yang dipindahkan dibandingkan dengan kerja (energi) yang diberikan. Semakin besar kalor yang dapat dipindahkan dengan sejumlah energi demikian, maka COP semakin tinggi, dan semakin hemat sistem tersebut

Nilai COP adalah jumlah energi termal yang dipindahkan dari sistem ke lingkungan dibagi dengan setiap satuan energi yang dikonsumsi. Perhitungan nilai COP pada sistem pendingin secara garis besar mengikuti persamaan berikut:

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}}$$

$$Q_c = C \Delta T$$

$$Q_c = m C_p \Delta T$$

$$P_{in} = VI$$

$Q_c$  = Beban kalor yang dipindahkan (watt)

$P_{in}$  = Daya input sistem pendingin (watt)

$m$  = Massa beban (kg)

$C_p$  = Kalor spesifik (kalor jenis) beban (J/kgK)

$\Delta T$  = Perubahan suhu beban (K)

Langkah-langkah untuk menghitung COP sistem pendingin termoelektrik dc cooler adalah sebagai berikut:

**Perhitungan Beban Kalor**

**Kapasitas Kalor**

Kapasitas kalor (*C*) adalah banyaknya kalor yang diserap/dilepaskan untuk menaikkan/menurunkan suhu sebesar 1 °C. Dari persamaan kalor, bahwa untuk menaikkan/menurunkan suhu suatu benda/sistem sebesar  $\Delta T$  diperlukan kalor sebesar:

$$Q = C \times \Delta T$$

*Q* = kalor (Joule atau watt)

*C* = kapasitas kalor (Joule/°C atau watt/°C)

$\Delta T$  = perubahan (kenaikan/penurunan) suhu (°C)

Maka kapasitas kalor dapat ditentukan dengan persamaan:

$$C = \frac{Q}{\Delta T}$$

Nilai *Q* dan  $\Delta T$  dapat ditentukan dari pengujian dc cooler dengan beban lampu pijar pijar 60 watt.  $\Delta T$  adalah besarnya perubahan suhu kabin antara suhu tunak dalam keadaan dc cooler mati dan suhu tunak dalam keadaan dc cooler hidup. Hasil pengujian ini diperlihatkan dalam Gambar 14.

Dengan mengambil nilai rata-rata dalam keadaan tunak diperoleh data-data dan berikut:

$$Q = 60 \text{ watt} ; \Delta T = 11.662 \text{ }^\circ\text{C}$$

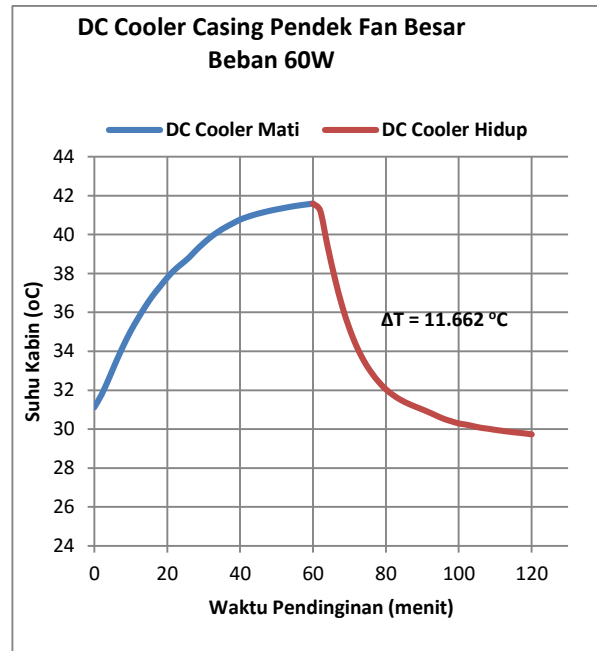
Maka kapasitas kalor sistem ini:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \frac{60}{11.662} = 5.145 \text{ watt/}^\circ\text{C}$$

Sehingga beban kalor kabin untuk dc cooler extrude casing pendek fan besar dapat dihitung dengan persamaan:

$$Q = C \Delta T$$

$$Q = 5.145 \times 7.43 = 38.227 \text{ watt}$$



**Gambar 14 Penurunan Suhu Kabin oleh DC Cooler Extrude Casing Pendek Fan Besar dengan Beban 60 W**

**Beban Motor Fan**

Motor yang bekerja memutar baling-baling fan akan menghasilkan panas/kalor sebagai akibat adanya rugi-rugi daya pada motor listrik yang terdiri dari rugi-rugi tembaga ( $I^2R$ ), dan rugi-rugi gesekan antara rotor dengan bantalannya. Besarnya rugi-rugi ini bisa dihitung bila efisiensi motor tersebut diketahui, dan nilainya sebanding dengan daya motor. Dalam penelitian ini diasumsikan efisiensi fan 90%. Beban kalor oleh fan besar dapat dihitung seperti berikut:

$$V = 48 \text{ volt} \quad I = 0.74 \text{ ampere}$$

$$P_{in} = 48 \times 0.74 = 35.52 \text{ watt}$$

$$Q_{fan} = P_{loss} = P_{in}(1 - \eta) = 3.552 \text{ watt}$$

**Beban kalor keseluruhan:**

Dengan menganggap dinding kabin adiabatik (tidak ada kalor yang keluar/masuk dalam kabin), maka beban kalor keseluruhan yang dipindahkan dari

dalam kabin oleh dc cooler extrude casing pendek fan besar adalah:

$$Q_c = Q + Q_{fan} = 41.779 \text{ watt}$$

### Perhitungan Daya Masukan

Total daya listrik yang diserap oleh dc cooler casing pendek fan besar dapat dihitung sebagai berikut:

$$V = 52.8 \text{ volt } I = 2.98 \text{ ampere}$$

$$P_{in} = V I = 52.8 \times 2.98 = 157.344 \text{ watt}$$

### Perhitungan COP

Perhitungan kinerja dc cooler atau nilai COP pada sistem pendingin dc cooler extrude casing pendek fan kecil adalah sebagai berikut:

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}}$$

$$COP = \frac{Q_c}{P_{in}} = \frac{41.779}{157.344} = 0.2612$$

Nilai COP untuk dc cooler prototipe yang lain dapat dihitung dengan langkah-langkah yang sama seperti yang telah dijelaskan di atas. Hasil perhitungannya dapat dirangkum dalam Tabel 1.

**Tabel 1 Hasil Perhitungan COP DC Cooler**

No	DC Cooler	Qc (watt)	Pin (watt)	COP
1	Casing pendek Fan besar	41.779	157.344	0.2612
2	Casing panjang Fan besar	45.823	157.344	0.2864
3	Casing pendek Fan kecil	42.699	155.232	0.2705
4	Casing panjang Fan kecil	45.539	155.232	0.2885

Dari tabel COP di atas, kemudian dilakukan perhitungan besarnya kenaikan efisiensi atau COP dc cooler modifikasi

(No: 2,3,4) terhadap dc cooler awal (No: 1) dengan menggunakan persamaan:

$$\Delta COP = \left( \frac{COP_{2,3,4,5}}{COP_1} - 1 \right) \times 100\%$$

Hasil perhitungannya dapat dirangkum dalam Tabel 2. Dari hasil perhitungan dapat dilihat bahwa, pada dc cooler yang menggunakan heatsink jenis slot terjadi penurunan kinerja sebesar 7.32% bila dibandingkan dengan kinerja dc cooler yang menggunakan heatsink extrude.

**Tabel 2 Kenaikan COP terhadap DC Cooler Awal**

No	DC Cooler	$\Delta COP$ (%)
1	Casing pendek Fan besar	
2	Casing panjang Fan besar	9.68
3	Casing pendek Fan kecil	3.57
4	Casing panjang Fan kecil	10.46

Dan berdasarkan Tabel 2 juga dapat diambil kesimpulan bahwa, prosentase kenaikan kinerja atau kenaikan COP terbesar dapat diperoleh pada prototipe dc cooler yang menggunakan casing panjang dan fan kecil, yaitu sebesar 10.46%.

### Analisis Penghematan Energi

Berdasarkan persamaan COP dapat dijelaskan bahwa semakin besar kalor yang dapat dipindahkan dengan sejumlah energi tertentu, maka COP semakin tinggi, dan semakin hemat sistem tersebut. Demikian juga bila semakin kecil energi yang dibutuhkan untuk memindahkan kalor dari ruang pendinginan sejumlah tertentu, maka COP juga semakin tinggi dan semakin hemat.

Besarnya penghematan yang diperoleh dari modifikasi dc cooler awal (heatsink extrude casing pendek fan besar) menjadi dc cooler heatsink extrude casing panjang fan

kecil atau heatsink extrude casing pendek fan kecil dapat dihitung sebagai berikut:

Daya masukan dc cooler awal (heatsink extrude casing pendek fan besar):

$$V = 52.8 \text{ volt} \quad I = 2.98 \text{ ampere}$$

$$P_1 = 157.344 \text{ watt}$$

Daya masukan dc cooler modifikasi (heatsink extrude casing panjang fan kecil):

$$V = 52.8 \text{ volt} \quad I = 2.94 \text{ ampere}$$

$$P_2 = 155.232 \text{ watt}$$

Karena  $P_1 > P_2$ , maka  $COP_1 < COP_2$

Jadi dc cooler modifikasi lebih hemat dari pada dc cooler awal. Dan besar daya yang dapat dihemat oleh dc cooler modifikasi adalah:

$$\Delta P = P_1 - P_2 = 2.11 \text{ watt}$$

Sehingga selama satu tahun, untuk satu unit dc cooler dapat menghasilkan penghematan energi listrik sebesar:

$$W = P \times t = 2.11 (24 \times 365) \\ = 18.484 \text{ KWH}$$

## DAFTAR PUSTAKA

- Kreith, Frank dan Prijono Arko. 1990. *Prinsip-prinsip Perpindahan Panas*. Penerbit Erlanga, Jakarta
- Holman, J.P. 1989. *Heat Transfer*, (SI Metric Edition). McGraw-Hill Book Company: Singapore
- Incopera, Frank P., Dewitt, David P. 2002. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, New York, Fifth Edition: John Wiley and Sons
- Nandy P, Aziz O, Idam B, Fery Y. *Penggunaan Hetsink Fan sebagai Pendingin Sisi Panas Elemen Peltier pada Pengembangan Vaccine Carrier*, Jurnal Teknologi, edisi 1 tahun XXI, Maret 2007
- S.B. Riffat, Xiaoli Ma, *Thermoelectric: a review of present and potential appli-*

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa data dapat ditarik kesimpulan bahwa dibandingkan terhadap dc cooler awal yang menggunakan heatsink extrude casing pendek dan fan besar, maka pada dc cooler modifikasi dengan:

- 1) Penggunaan casing panjang yang menutupi seluruh permukaan heatsink dapat meningkatkan performa dc cooler, yaitu COP meningkat 9.68 %.
- 2) Penggunaan fan dengan daya lebih kecil dapat meningkatkan performa dc cooler, yaitu COP naik 3.57 %.

Penggunaan casing panjang dan fan kecil dapat menghasilkan kenaikan COP sebesar 10.46 %, dan dapat menghemat energi listrik sebesar 18.5 KWH perunit selama satu tahun.

- cations*, Journal of Applied Thermal Engineering, 23 (2003) 913-935.
- S.B. Riffat, S.A. Omer, Xiali Ma (2001), *A novel thermoelectric refrigeration system employing heta pipe and a phase change material: an experience investigation*. Journal of Renewable Energy, 23 (2001) 313-323
- Abdul Kadir. 1990. *ENERGI: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik, Potensi Ekonomi*, cetakan ketiga. UI-Press
- Goodfrey, Sara. 2000. *An Introduction to Thermoelectric Coolers*, Trenton: Melcor Corporation
- Melcor. 1999. Thermal Solutions. *The Standard in Thermoelectric*.  
[www.melcor.com](http://www.melcor.com)  
[www.heatsink-guide.com](http://www.heatsink-guide.com)  
[www.mit.edu](http://www.mit.edu)  
[www.kuliselular.com](http://www.kuliselular.com)