

PENDINGIN KABIN MOBIL BERBASIS TERMOELEKTRIK

Imansyah Ibnu Hakim, Sandya Priyambada, Rizki Rajab Priangan

Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknik - Universitas Indonesia
Kampus Baru UI Depok 16424
Email : imansyah@eng.ui.ac.id

Abstrak

Mobil yang di parkir di tempat terbuka di bawah sinar matahari akan mengalami peningkatan temperatur yang sangat drastis. Apalagi apabila mobil tersebut tidak dilengkapi dengan kaca film. Temperatur di dalam kabin bisa mencapai 50-60 °C. Hal ini disebabkan konduksi terhadap badan mobil, konveksi di dalam kabin mobil dan radiasi dari sinar matahari terhadap kaca mobil serta pantulan radiasi oleh interior di dalam mobil. Temperatur yang cukup tinggi di dalam kabin mobil ini tentunya akan merusak peralatan-peralatan elektronik yang berada di dalamnya, bila terdapat *air freshener* maka akan menghasilkan gas yang beracun, bila terdapat minuman kaleng bersoda maka akan meledak. Untuk mengatasi peningkatan temperatur di dalam kabin maka dirancang sebuah pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik. Termoelektrik adalah sejenis elemen berbahan semikonduktor yang apabila diberikan sumber listrik, maka kedua sisi elemen tersebut akan memberikan respon yang berbeda, satu sisi panas dan sisi lainnya dingin. Sisi dingin inilah yang dimanfaatkan sebagai media pendingin kabin mobil. Jadi pendingin kabin mobil ini tidak menggunakan freon, sehingga ramah terhadap lingkungan, dan daya yang dibutuhkan pun sangat kecil. Pendingin kabin mobil ini implementasinya diawali untuk kendaraan mobil tipe *city car* dengan pertimbangan volume kabin tidak terlalu luas dan difokuskan untuk sang sopir. Pengambilan data temperatur dalam kabin sebanyak 4 (empat) titik. Dari hasil pengukuran temperatur tersebut dapat dicapai rata-rata temperatur 48 °C. Data hasil pengukuran temperatur tersebut juga dikomparasi dengan data hasil simulasi. Dari hasil yang sudah dicapai, pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini perlu dikembangkan lebih lanjut.

Keywords: perpindahan kalor, elemen peltier, termoelektrik, pendingin kabin mobil

Pendahuluan

Saat kita memarkir mobil di area parkir yang terbuka seperti yang terlihat pada Gambar 1., tentu akan terkena langsung sinar matahari. Temperatur dalam kabin mobil akan meningkat drastis karena panas yang terperangkap dalam kabin mobil dan tidak ada sirkulasi udara apalagi bila kaca mobil tidak dilengkapi dengan kaca film.



Gambar 1. Mobil parkir di bawah terik matahari

Suhu dalam kabin mobil saat di parkir dapat mencapai 50-60°C seperti pada Gambar 2., dimana

kondisi tersebut tidak hanya berbahaya bagi penumpang di dalamnya namun juga dapat merusak peralatan-peralatan elektronik yang tersimpan di dalam mobil dan interior mobil.



(a)



(b)

Gambar 2. Suhu kabin (a) dan Peralatan elektronik di dalam kabin (b)

Pada umumnya setelah mobil di parkir, bila pengguna mobil ingin mobilnya tidak panas ketika kembali ke dalam mobil, maka pengguna mobil biasanya menutup kaca depan (*windscreen*) dengan lembaran alumunium foil. Namun metode ini dirasa kurang efektif untuk mengurangi panas yang terkumpul di dalam mobil karena panas yang sudah terperangkap tidak dapat keluar.

Usaha yang lain untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan kaca film dan *cooling fan*. Kaca film cukup efektif untuk mereduksi panas yang masuk ke dalam mobil namun bila ditinjau dari sisi ekonomis, kaca film masih tergolong mahal. Sedangkan *cooling fan* (*Autocool*) menggunakan bantuan *fan* untuk menyedot udara keluar kabin mobil. *Fan* ini diletakkan pada jendela mobil dengan cara memberikan sedikit celah pada jendela mobil sehingga dapat menimbulkan resiko keamanan.

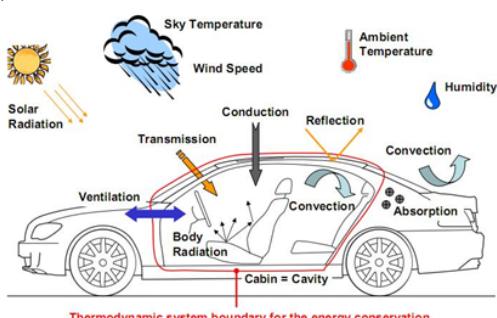
Pada penelitian ini, telah dirancang pendingin kabin mobil yang berbasis termoelektrik. Pendingin ini sedikit sekali menggunakan energi dan ramah lingkungan, karena tidak menggunakan fluida freon sebagai media pendinginnya.

Sistem pendingin ini kami beri nama Pendingin Kabin Mobil Berbasis Termoelektrik. Implementasi awal alat ini lebih diprioritaskan untuk mobil berjenis *City Car* dengan pertimbangan ukuran kabin dari *City Car* tidak terlalu luas sehingga suhu pendinginan yang diinginkan dapat tercapai. Target suhu yang dicapai di dalam kabin paling tidak sama dengan suhu lingkungannya. Dengan demikian dapat memberikan rasa nyaman bagi pengendara dan kerusakan peralatan elektronik dan interior mobil dapat dihindari.

Landasan Teori dan Perancangan

Keseimbangan termal dalam kabin mobil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. sangat dipengaruhi oleh berbagai macam pengaruh eksternal antara lain:

- Radiasi dari matahari.
- Temperatur di angkasa.
- Kecepatan angin.
- Temperatur ambient di sekitar mobil.
- Kelembaban udara di sekitar mobil.



Gambar 3. Keseimbangan Thermal Kabin Mobil
Sumber : Paulke, Stefan, et al. 2007.

Sedangkan perubahan kalor dalam kabin mobil dipengaruhi oleh beberapa mekanisme antara lain:

- Transmisi kalor melalui kaca mobil.
- Konduksi melalui body mobil.
- Konveksi udara dalam kabin mobil.
- Radiasi yang dipancarkan interior mobil.
- Ventilasi udara dalam mobil.

Proses perpindahan panas secara konduksi dan radiasi dari lingkungan ke dalam sistem (kabin mobil) karena nilainya sangat kecil maka diabaikan, sehingga proses perpindahan panas secara konduksi hanya terjadi antara elemen peltier, *heatsink* dan *coldsink*. Perhitungan perpindahan kalor pada kabin mobil berdasarkan pada kebutuhan jumlah daya yang dihasilkan oleh elemen peltier. Elemen peltier yang digunakan berjumlah sepuluh buah, dipilih sepuluh karena disesuaikan luas permukaan yang tersedia. Elemen peltier kemudian disusun secara paralel.

Elemen peltier yang digunakan pada sisi panasnya menghasilkan rata-rata 60°C . Berdasarkan karakteristik umum elemen peltier dapat diketahui data sebagai berikut :

$$V = 12 \text{ Volt}$$

$$I = 3 \text{ Ampere}$$

$$\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$$

Kinerja elemen peltier dapat lebih optimal, jika tegangan dan arus yang diberikan sebesar 5 V dan 2 A. Mobil menggunakan *accu* untuk memenuhi kebutuhan listriknya, begitu pula alat pendingin kabin mobil ini. *Accu* mobil mempunyai tegangan 12 V dan arus 40 A, sehingga digunakan alat penurun tegangan dan pembatas arus (*inverter*) yang akan masuk ke dalam pendingin kabin mobil ini. *Inverter* ini akan menurunkan tegangan dari 12 V menjadi 5 V dan membatasi jumlah arus yang masuk hanya sebesar 20 A. Maka, daya yang diberikan ke elemen peltier adalah :

$$P_{in} = V_{xy} I_{xy} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

dimana :

V_{xy} = Tegangan (Volt)

I_{xy} = Arus (Ampere)

P_{in} = Kalor (Watt)

$$P_{in} = \frac{V_{xy}^2}{R_{xy}} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

dimana,

$$\frac{1}{R_{xy}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n} = \frac{10}{2.5}$$

$$R_{xy} = 0.25 \Omega$$

maka,

$$P_{in} = \frac{V_{xy}^2}{R_{xy}} = \frac{5^2}{0.25} = 100 \text{ Watt}$$

Jadi daya yang dihasilkan oleh sepuluh elemen peltier adalah sebesar 100 Watt, atau dapat dikatakan juga kalor yang dihasilkan sepuluh elemen peltier adalah 100 Watt. Suhu dingin yang ingin dicapai pada saat mobil dalam kondisi terjemur adalah $T_c = T_h - \Delta T = 60^\circ C - 30^\circ C = 30^\circ C$.

Pada penggunaan elemen peltier, salah satu sisinya akan menjadi sisi panas. Dimana temperatur sisi panas (*hot side*) elemen peltier dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$T_h = T_\infty + (\theta)(Q_h) \dots \dots \dots (3)$$

dimana :

T_h = Temperatur sisi panas ($^\circ C$)

T_∞ = Temperatur ambient ($^\circ C$)

θ = Tahanan termal dari Elemen Peltier ($^\circ C/\text{watt}$)

$$T_h = T_\infty + \left(\frac{\Delta x}{k_A}\right)(Q_h) \dots \dots \dots (4)$$

$$60 = 50 + (0,01667)(Q_h)$$

$$Q_h = \frac{60 - 50}{0,01667}$$

$$Q_h = 600 \text{ Watt}$$

Pada pemakaian elemen peltier, sisi yang lainnya akan menjadi sisi dingin. Dimana temperatur sisi dingin (*cold side*) elemen peltier dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$Q_h = Q_c + P_{in} \dots \dots \dots (5)$$

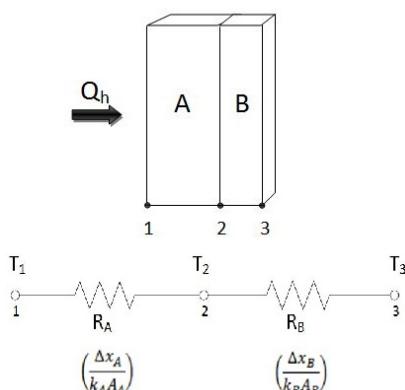
$$Q_c = 600 - 100$$

$$Q_c = 500 \text{ Watt}$$

Agar temperatur kabin mobil lebih merata, maka untuk memperluas area *cold transfer* digunakan *cold sink*.

Menghitung temperatur *cold sink* :

$$Q = -k \cdot A \cdot \frac{dT}{dx} \dots \dots \dots (6)$$



Gambar 4. Skema Perpindahan Panas dan *Thermal Resistance Circuit*

$$Q = -k_A \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{\Delta x_A} = -k_B \cdot A \cdot \frac{T_3 - T_2}{\Delta x_B}$$

$$Q = \frac{T_2 - T_1}{\frac{\Delta x_A}{k_A A_A} + \frac{\Delta x_B}{k_B A_B}}$$

$$600 = \frac{T_3 - 60}{\frac{(4 \times 10^{-3})}{(150)(1,6 \times 10^{-4})} + \frac{(6 \times 10^{-4})}{(202)(0,0576)}}$$

$$T_3 = 49,97^\circ C$$

dimana,

$$Q_h = 600 \text{ Watt}$$

$$T_1 = 60^\circ C$$

$$k_{\text{peltier}} = 150 \text{ Watt/m K}$$

$$k_{\text{alumunium}} = 202 \text{ Watt/m K}$$

$$x_{\text{peltier}} = 4 \text{ mm} = 4 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$x_{\text{alumunium}} = 0.6 \text{ mm} = 6 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$A_{\text{peltier}} = 1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{alumunium}} = 0,0576 \text{ m}^2$$

Kalor yang dihasilkan pada sisi panas adalah 600 Watt dan menghasilkan suhu panas $60^\circ C$. Elemen peltier disusun pada sisi *cold sink*, sehingga terjadi proses perpindahan kalor secara konduksi. Nilai T_3 adalah temperatur di sisi luar *cold sink* yang menghadap ke arah kabin pengemudi, sedangkan nilai T_1 adalah temperatur yang ada di sisi panas elemen peltier. Maka temperatur yang dihasilkan oleh *cold sink* melalui proses perpindahan kalor secara konduksi terhadap elemen peltier adalah $49,97^\circ C$.

Perpindahan kalor secara konveksi merupakan perpindahan kalor yang diikuti dengan perpindahan partikel/molekul benda tersebut atau dengan kata lain terjadi laju aliran massa pada benda/substansi tersebut. Untuk menghitung nilai koefisien perpindahan kalor konveksi, langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

- Nilai Pr

Angka Prandtl merupakan parameter yang menghubungkan ketebalan relatif antara batas hidrodinamik dan lapisan batas thermal. Temperatur rata-rata setelah mengambil data pada kabin mobil adalah $50^\circ C$. Maka, akan di dapat $T = 323 \text{ K}$. Dari daftar sifat udara pada tekanan atmosfer akan didapat nilai Pr dengan menggunakan metode interpolasi pada $T = 323 \text{ K}$, yaitu : $Pr = 0,703$, $v = 18,09 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ dan $k = 0,02798$.

- Nilai Re_x

$$Re_x = \frac{u_\infty x}{v} \dots \dots \dots (7)$$

dimana :

$$Re_x = \text{Bilangan Reynolds}$$

$$u_\infty = \text{Kecepatan aliran bebas (m/s)}$$

$$v = \text{Viskositas kinematik (m/s}^2\text{)}$$

$$x = \text{Jarak Lapisan Batas (m)}$$

Nilai u_{∞} adalah nilai kecepatan aliran bebas *fan* yang digunakan pada alat Pendingin Kabin Mobil Berbasis Thermoelektrik ini. Kecepatan aliran sebesar 51 cfm atau 3,77 m/s. Sedangkan nilai x merupakan arah tegak lurus dari datangnya konveksi paksa yang dilakukan oleh *fan* sepanjang plat alumunium yang menutup elemen peltier. Jarak lapis batas dari plat datar yang menutup sisi panas peltier adalah 340 mm, maka bilangan Reynolds-nya adalah sebagai berikut :

$$Re_x = \frac{(3,77 \text{ m/s}) \times (0,34 \text{ m})}{(18,09 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 70856,87$$

- ### - Nilai Nu_x

Nilai Pr dan Re telah didapat dari perhitungan sebelumnya, kemudian kedua nilai tersebut akan digunakan pada persamaan Nußelt, yaitu :

$$Nu = 77.16$$

- #### - Nilai Koefisien Konveksi

Setelah didapat nilai Nußelt, kemudian dihitung nilai koefisien konveksi (h) yang terjadi pada kabin mobil sebagai berikut :

$$h = \frac{Nu \cdot k}{x} = \frac{(20.92)(0.02798)}{0.34} = 6.35 \text{ W/m}^2 \text{ C} \quad (9)$$

Nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor adalah dua kali nilai koefisien konveksi di atas, yaitu :

$$\bar{h} = (2)(6.35) = 12.7 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Maka nilai aliran kalor

$$Q = \bar{h} A (T_s - T_\infty) \dots \quad (10)$$

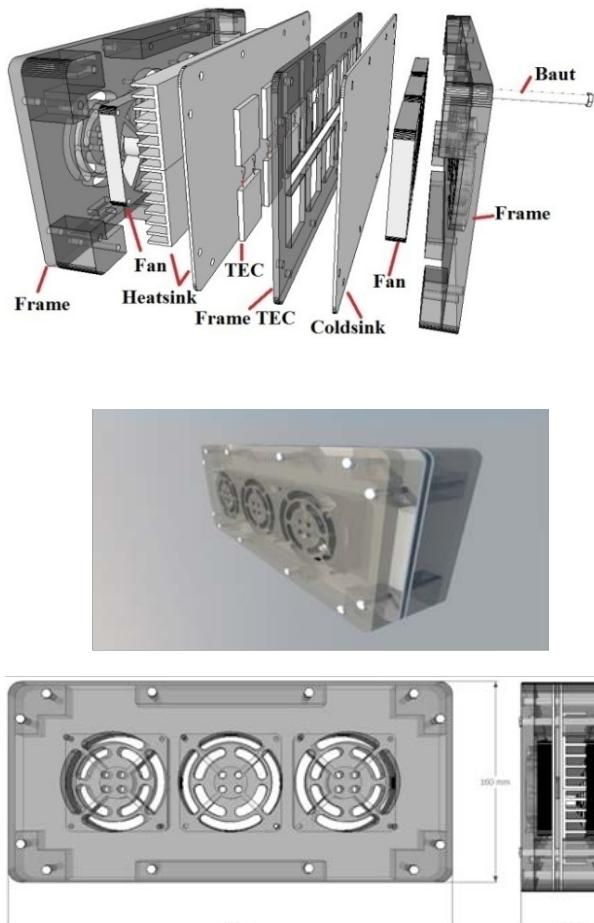
Jika diasumsikan satu satuan kedalaman pada arah z di dalam kabin mobil adalah 0,4 m, maka :

$$Q = (12,7)(0,4)(50 - 49,97) = 0,1524 \text{ Watt}$$

Berdasarkan perhitungan, perpindahan kalor secara konveksi yang terjadi di dalam kabin mobil sejauh 0,4 m dari alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik terdapat di tempat duduk pengemudi. Nilai kalor pada kabin tempat duduk pengemudi adalah sebesar 0,1524 Watt.

Konsep dasar perancangan pendingin kabin mobil adalah bagaimana menurunkan suhu kabin khususnya pada bagian pengemudi sehingga saat akan mengendarai akan merasa nyaman.

Pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik terdiri 6 bagian frame utama, *fan*, *heatsink*, *thermoelectric cooler (TEC)*, frame TEC, *coldsink*. Bagian-bagian tersebut dapat dilihat pada Gambar 5. Frame berfungsi sebagai rangka utama alat. Fan berfungsi untuk mengalirkan udara dingin ke *heatsink* dan membantu mengalirkan temperatur dingin dari *coldsink* ke kabin mobil. Fan sebanyak 3 buah pada sisi *heatsink* dan 3 buah pada sisi *coldsink*. *Thermoelectric cooler (TEC)* yang digunakan pada alat ini berjumlah 10 buah. *Heatsink* berfungsi untuk mengambil panas yang dihasilkan TEC. Frame TEC berfungsi sebagai dudukan TEC. *Coldsink* berfungsi sebagai media perantara pendingin dari TEC ke kabin mobil. *Coldsink* terbuat dari material aluminium yang memiliki konduktivitas termal sekitar 202 Watt/m K.



Gambar 5. Konsep Perancangan Pendingin Kabin Mobil Berbasis Termoelektrik

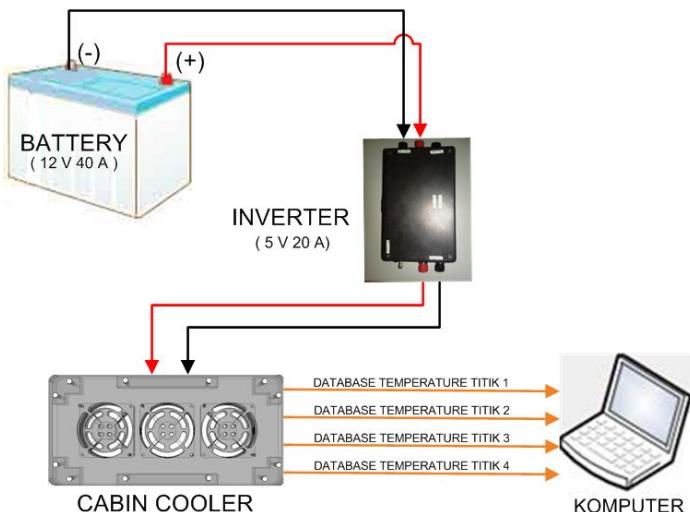
Pendingin kabin mobil berbasis thermoelektrik ini dipasang pada *interior* yang ada di kabin baris pertama di dalam mobil, yaitu pada pelindung mata dari sinar matahari seperti yang tampak pada Gambar 6.



Gambar 6. Layout Instalasi Alat Pada Kabin Mobil

Pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini mengambil kebutuhan listrik dari sumber listrik pada mobil, yaitu *accu*. *Accu* mobil mempunyai spesifikasi tegangan sebesar 12 Volt dan rata-rata memiliki arus sebesar 40 Ampere.

Agar tegangan dan arus yang diinginkan tidak melebihi dari kapasitas elemen peltier, maka dipasang *inverter*. Keluaran dari *inverter* adalah 5 Volt dan 20 Amper. *Inverter* kemudian dihubungkan dengan alat pendingin kabin mobil. Skema rangkaian pendingin kabin dapat dilihat pada Gambar 7.

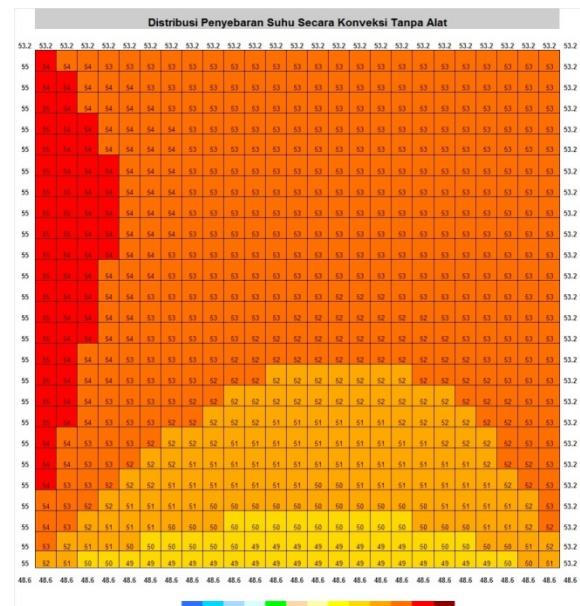


Gambar 7. Skema rangkaian pendingin kabin mobil

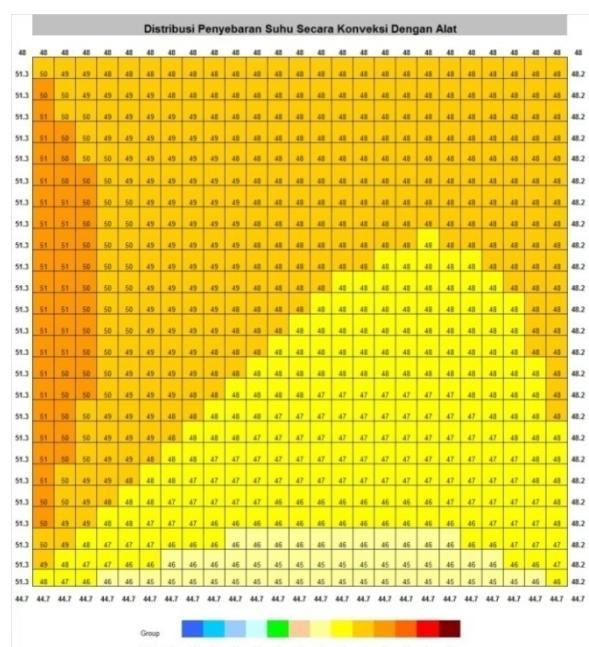
Hasil dan Diskusi

Daerah pengambilan data yang dilakukan pada kabin mobil diharapkan dapat mewakili bagian tubuh pada manusia yang memiliki tingkat kepekaan yang lebih tinggi terhadap suhu. Pertimbangan ini diambil mengingat bahwa pada saat mengemudikan mobil, tubuh harus dalam keadaan nyaman, baik nyaman terhadap suhu di dalam kabin mobil maupun terhadap posisi mengemudi. Apabila, pada saat pertama kali memasuki mobil yang telah terjemur beberapa jam, maka akan terasa seruan hawa panas yang dapat membuat tubuh tidak nyaman. Hal ini menyebabkan tubuh mengalami proses adaptasi terhadap suhu di dalam kabin yang panas.

Sebelum dilakukan pengambil data, peneliti melakukan simulasi distribusi temperatur pada kabin mobil pada posisi duduk pengemudi, karena posisi ini ditetapkan sebagai *boundary layer*. Distribusi temperatur tersebut dapat dilihat pada Gambar 8. Simulasi ini akan dibandingkan dengan simulasi data suhu dengan menggunakan alat dalam rentang waktu yang sama yaitu pada jam 11.00 hingga jam 13.00.



Gambar 8. Distribusi temperatur secara konveksi di kabin mobil tanpa alat



Gambar 9. Distribusi temperatur secara konveksi di kabin mobil dengan alat

Simulasi pada Gambar 9. menunjukkan adanya penurunan suhu pada kabin mobil, tetapi penurunan suhu tersebut tidak mencapai suhu yang diinginkan

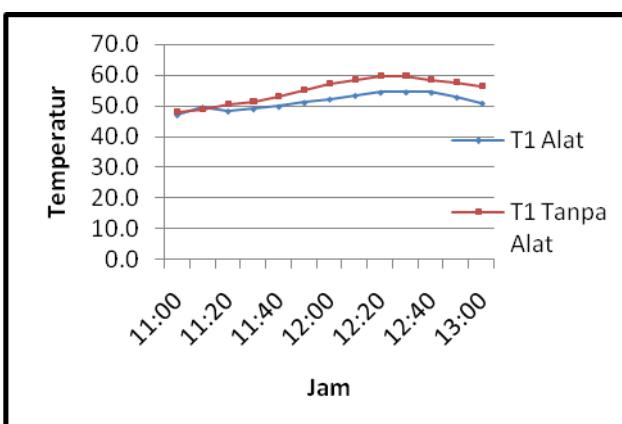
yaitu 30^0C . Hasil simulasi ini akan coba dibandingkan dengan hasil pengujian di lapangan.

Pengambilan data suhu kabin mobil dibagi menjadi dua tahap, yaitu data suhu tanpa pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik dan data suhu dengan pendingin. Hal ini dilakukan untuk mengetahui performa dari alat pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini. Pengambilan data temperatur terdiri dari T1 dan T2 yang terletak pada bagian setir mobil sebelah kiri dan kanan, kemudian T3 pada bagian atas di kepala pengemudi, dan T4 terletak pada dada pengemudi. Penempatan termokopel dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Posisi Termokopel Pada Kabin Mobil

Temperatur rata-rata pada titik T1 dengan alat adalah $51,3^0\text{C}$ dan tanpa alat $55,0^0\text{C}$. Pada titik T2 dengan alat adalah $48,2^0\text{C}$ dan tanpa alat $53,0^0\text{C}$. Kemudian pada titik T3 pengambilan data temperatur dengan alat $44,7^0\text{C}$ dan tanpa alat $48,6^0\text{C}$. Sedangkan pada posisi titik T4 pengambilan data dengan alat adalah $48,0^0\text{C}$ dan tanpa alat adalah $52,8^0\text{C}$.

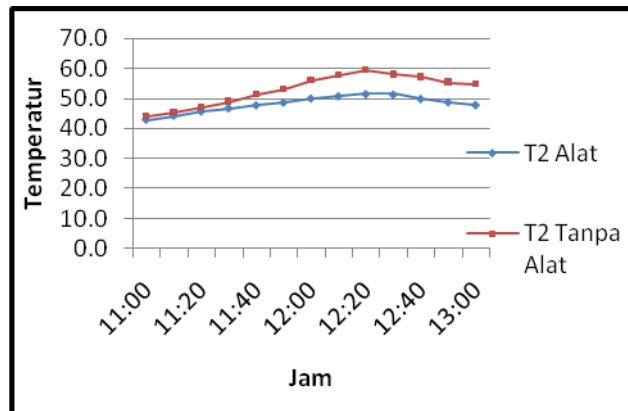


Gambar 11. Perbandingan Temperatur Pada T1 Dengan alat dan Tanpa Alat

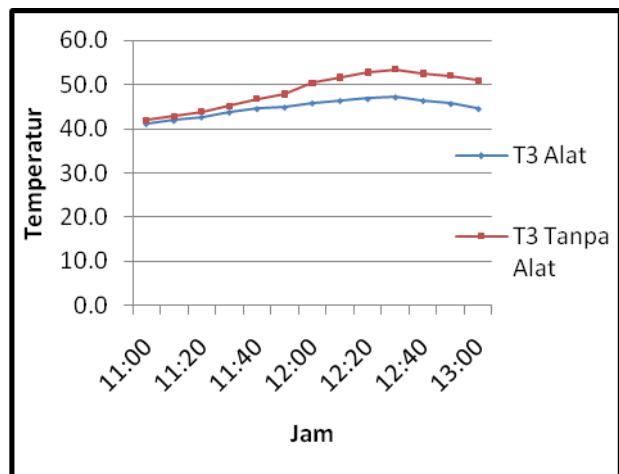
Gambar 11. memperlihatkan temperatur rata-rata pada titik T1, terukur temperatur rata-rata

tanpa alat adalah $55,0^0\text{C}$ sedangkan dengan alat adalah $51,3^0\text{C}$.

Sedangkan pada Gambar 12. terukur temperatur rata-rata di posisi T2 tanpa alat adalah $53,0^0\text{C}$ dan dengan alat adalah $48,2^0\text{C}$.

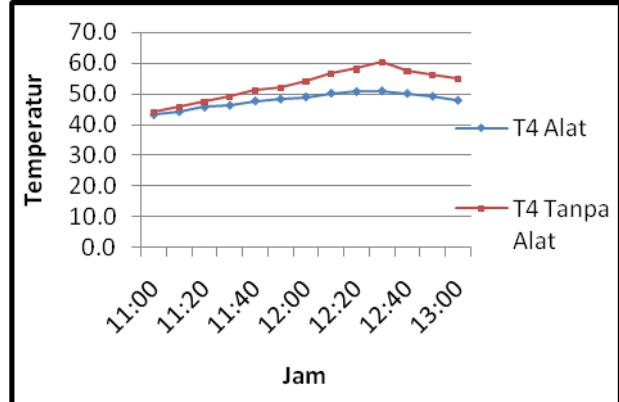


Gambar 12. Perbandingan Temperatur Pada T2 Dengan alat dan Tanpa Alat



Gambar 13. Perbandingan Temperatur Pada T3 Dengan alat dan Tanpa Alat

Gambar 13. memperlihatkan temperatur rata-rata pada titik T3, terukur temperatur rata-rata tanpa alat adalah $48,6^0\text{C}$ sedangkan dengan alat adalah $44,7^0\text{C}$.



Gambar 14. Perbandingan Temperatur Pada T4 Dengan alat dan Tanpa Alat

Gambar 14. memperlihatkan temperatur rata-rata pada titik T4, terukur temperatur rata-rata tanpa alat adalah 52,8 °C sedangkan dengan alat adalah 48,0°C.

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pengujian awal pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran untuk pengembangan alat berikutnya :

1. Temperatur rata-rata kabin mobil yang diparkir di area terbuka khususnya untuk kendaraan jenis penumpang mencapai 52,4°C.
2. Temperatur rata-rata kabin mobil setelah menggunakan pendingin kabin mobil berbasis thermoelektrik mencapai 48°C.
3. Tidak adanya sirkulasi udara pada kabin mobil terhadap udara lingkungan menyebabkan bertambahnya beban pendinginan.
4. Untuk meningkatkan kinerja pendingin kabin mobil berbasis termoelektrik ini akan dikembangkan pada penelitian berikutnya di mana susunan elemen peltier akan dibuat bertingkat.

Daftar Referensi

1. Holman J.P. 1986. "Heat Transfer 6th Ed". Singapore : McGraw-Hill Book Co.
2. Incopera, Frank P. and David Dewith. 2002. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. Singapore : WSE Willey.
3. "Mobil Terjemur Bikin Puyeng Dan Keracunan?" <http://mobil.otomotifnet.com/read/2011/09/27/323748/127/7/Mobil-Terjemur-Bikin-Pueng-Dan-Keracunan>.
4. "Seberapa adem suhu kabin, saat dijemur di siang bolong?" <http://saft7.com/?p=170>.
5. "Auto Cool a Revolutionary Product In Car Accesory" <http://shopping.rediff.com/product/auto-cool-a-revolutionary-product-in-car-acessory/10244840>.
6. "Peltier Cooler, si keping yang panas dingin" <http://dighadiy.wordpress.com/2011/07/05/peltier-cooler-si-keping-demam-yang-panas-dingin/>.
7. "Heatsink", http://en.wikipedia.org/wiki/Heat_sink.
8. Paulke, Stefan, et al. 2007. "Air Conditioning Cabin Simulation with Local Comfort Rating of Passengers". P+Z Engineering GmbH.
9. "Heatsink" <http://smk-kp.blogspot.com/2011/05/heatsink.html>.