

ANALISIS PENYERAPAN PANAS PADA COVER ACCU DI MOBIL SUV

Mohamad Faizal.H¹, Mariza Fitri²

Program Studi Teknik Mesin, Institut Sains dan Teknologi Nasional, Jakarta Selatan, Indonesia^{1 2}
email : mfaizalh44@yahoo.com

Abstract

Batteries or accumulators on the car serves to store electrical energy in the form of chemical energy, which will be used to supply the system to the electric starter, ignition system, lights and other electrical components. In the car, the battery damage can occur due to many factors including temperature. Batteries that work at higher temperatures will have a life span that is lower than at normal room temperature (25°C). Generally, the location of the battery is in the engine room so that the battery position was close to the engine. The car engine works at the optimum temperature 80 ° C - 90 ° C so that the heat is around the engine room can be exposed directly to the battery and can affect the performance and lifetime of the battery. Adding insulation on cover, with low thermal conductivity coefficient will decrease heat transfer rate . Polyurethane as insulation with 7,5 mm thickness will maintenance battery liquid temperature 45,5 °C after running through three hundred minutes.

Keywords: Batteries, temperature, insulation, thermal conductivity, polyurethane.

PENDAHULUAN

Baterai / accu adalah alat yang dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Baterai berfungsi untuk menyuplai kebutuhan listrik terutama pada sistem starter saat mobil mulai dinyalakan. Kerusakan pada baterai dapat terjadi karena banyak faktor, salah satunya temperatur ekstrim. Temperatur tinggi saat baterai beroperasi dapat menurunkan siklus baterai, sehingga masa hidup baterai pada suhu lebih tinggi dari suhu normal (25°C) akan lebih kecil.

Pada pengetesan awal yang dilakukan dengan kondisi mesin menyala dan *idle* selama 180 menit, didapatkan temperatur cairan baterai mencapai 64,4 °C. Hal ini terjadi karena posisi baterai dan mesin di dalam kap mesin sangat dekat, sehingga panas dari mesin mobil terpapar langsung ke baterai. Meskipun baterai sudah dilengkapi dengan cover dari bahan plastik, namun cover dengan ketebalan 2,5 mm ini terlalu tipis dan tidak secara penuh menutupi baterai, sehingga cover ini tidak bagus dalam menyerap panas mesin, yang mana mesin bekerja pada suhu optimal 80 – 90 °C.

Oleh karena itu, cover baterai perlu dianalisis penyerapan panasnya secara konduksi dan konveksi, sehingga cover dapat dimodifikasi dan ditambahkan isolasi agar dapat menyerap panas dengan baik dan temperatur cairan baterai saat beroperasi tidak ekstrim. Dengan suhu kerja

yang tidak ekstrim, diharapkan baterai lebih tahan lama dengan siklus hidup yang tinggi.

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan Umum Baterai

Baterai akumulator atau lebih dikenal dengan sebutan aki, adalah alat yang dapat menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia. Di dalam standar internasional setiap satu sel akumulator memiliki tegangan sebesar 2 volt sehingga aki 12 volt memiliki 6 sel sedangkan aki 24 volt memiliki 12 sel. Aki merupakan sel yang banyak kita jumpai karena banyak digunakan pada sepeda motor maupun mobil. Aki termasuk sel sekunder karena selain dapat menghasilkan arus listrik, aki juga dapat diisi arus listrik kembali. Secara sederhana aki merupakan sel yang terdiri dari elektroda Pb sebagai anode dan PbO₂ sebagai katode dengan elektrolit H₂SO₄.

Proses kimia yang terjadi secara simultan, reaksi secara kimia dinyatakan sebagai berikut :

Anoda : $\text{Pb} + \text{SO}_4^{2-} \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{e}^-$

Katoda : $\text{PbO}_2 + \text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+ + 2\text{e}^- \rightarrow \text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

Reaksi total : $\text{Pb} + \text{PbO}_2 + 4\text{H}^+ + 2\text{SO}_4^{2-} \rightarrow 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

Baterai pada mobil berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia, yang akan digunakan untuk menyuplai listrik ke sistem starter, sistem pengapian, lampu-

lampu dan komponen komponen kelistrikan lainnya.

Ketika mesin dalam keadaan mati, maka baterai berfungsi sebagai sumber energi untuk pengopersian lampu dan aksesoris mobil. Ketika mesin di starter pada awal akan mengendarai, baterai berfungsi sebagai sumber energi untuk sistem *cracking* untuk starter mobil. Ketika mesin dalam keadaan *running* atau berjalan, baterai dapat berfungsi sebagai sumber energi untuk kebutuhan listrik lainnya

Penyebab Kerusakan Baterai

Kebanyakan baterai dapat bertahan hidup sampai lima tahun pada penggunaan suhu normal, namun biasanya garansi baterai untuk mobil penumpang hanya sampai dua tahun. Berikut beberapa penyebab kerusakan baterai;

1. Level Elektrolit

Permukaan elektrolit baterai harus dipertahankan antara batas atas dan bawah, oleh karena itu harus diperiksa secara rutin. Kekurangan elektrolit akan menyebabkan material aktif terkespos dan baterai tidak dapat diisi. Kurangnya elektrolit baterai dapat terjadi karena adanya kebocoran pada kotak baterai, jaranganya melakukan perawatan, dan charging yang berlebihan sehingga menyebabkan gas yang berlebihan. Namun demikian, kelebihan elektrolit juga tidak berdampak baik. Kelebihan elektrolit akan menyebabkan korosi pada terminal baterai akibat tumpahnya cairan elektrolit pada terminal saat mobil sedang berjalan. Korosi tersebut akan menghambat kelancaran reaksi kimia pada baterai.

2. Korosi

Korosi terjadi pada terminal, *connector*, dan metal disekitar baterai, akibat cairan elektrolit yang tumpah, atau dari hasil kondensasi gas setelah charging. Korosi dapat menaikkan resistansi listrik, yang mana dapat menurunkan tegangan dan proses charging menjadi tidak efektif.

3. Vibrasi

Vibrasi yang berlebihan dapat menyebabkan longgarnya *connector*, pecahnya kotak, dan membahayakan komponen bagian dalam baterai.

4. Overcharging

Proses pengisian baterai dari sistem pengisian di dalam kendaraan atau menggunakan peralatan terpisah, yang dilakukan secara berlebihan akan mengakibatkan gassing. Terlalu banyak gassing yang terjadi maka banyak juga material aktif yang hilang dari pelat. Sehingga proses pengisian dapat terganggu.

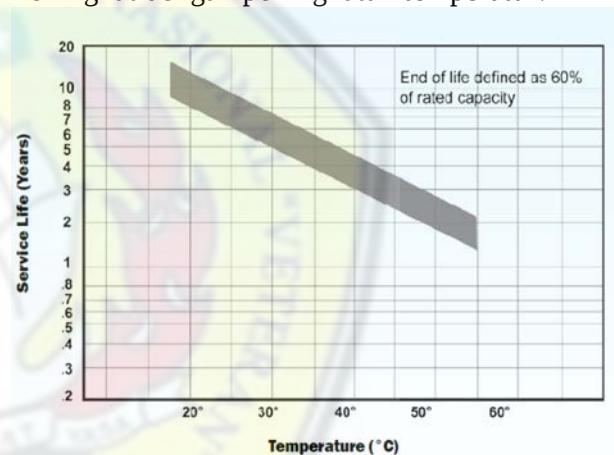
5. Peralatan elektronik yang berlebihan

Pemakaian piranti eletronik berlebihan pada mobil dapat mengurangi masa hidup baterai, terlebih jika perangkat kelistrikan tersebut digunakan pada saat kondisi mesin mati. Hal ini dapat menyebabkan baterai menjadi kosong, namun tidak ada input pengisian dari alternator.

6. Temperatur

Temperatur ambient merupakan faktor besar dalam masa hidup semua sistem baterai. Masa hidup baterai dapat berkurang setengahnya jika digunakan pada temperatur ekstrim. Kenaikan temperatur dapat menyebabkan kerusakan pada komponen baterai seperti korosi pada pelat positif dan siklus hidup baterai menjadi lebih singkat.

Temperatur juga mempengaruhi tingkat *self discharge* baterai, yaitu sebuah fenomena dimana sel-sel baterai kehilangan kemampuan untuk menyimpan energi listrik. Semakin rendah tingkat *self discharge*, semakin lama masa hidup baterai, dan *self discharge* baterai akan meningkat dengan peningkatan temperatur.



Gambar 1. Grafik Umur Baterai Berdasarkan Temperatur
Sumber : *Battery Manufacturer*

Endurance test merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui siklus hidup baterai. Pada test ini, diketahui bahwa siklus hidup baterai akan berkurang pada suhu yang lebih tinggi. Pada dasarnya, *endurance test* mengacu pada JIS D5301 dan pengujian siklus baterai dilakukan pada suhu $41 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

Pada pengujian ini, baterai ditempatkan di dalam bak berisi air dengan suhu $41 \pm 3^{\circ}\text{C}$, dengan level air berada 15mm – 25 mm di bawah permukaan atas baterai, dengan jarak 25 mm antara permukaan depan, samping, dan belakang baterai dengan dinding bak. Kemudian baterai dikosongkan dan diisi sampai tegangan turun menjadi 7.2V. Pada standarnya, baterai dengan tegangan 7.2 V atau di bawahnya tidak dapat digunakan kembali. Untuk itu dari pengetesan ini,

akan dicatat siklus pengisian dan pengosongan baterai sampai baterai mencapai akhir masa hidupnya..

Pada pengujian baterai untuk mobil PT. X, didapatkan hasil endurance test pada suhu 40°C adalah sebanyak 2600 siklus, sedangkan pada suhu 75°C adalah 1450 siklus. Pada temperatur 40°C adalah temperatur yang disarankan oleh manufaktur baterai PT. XY.

Tabel 1. Hasil *Endurance Test*.

No	Battery Type	Temperature	Standard	Actual
1	34B19R	40 C	MIN 2250	2600
2	34B19R	75 C	MIN 1100	1450

Sumber : PT. XY Battery

Perpindahan Panas Konduksi

Konduksi adalah proses perpindahan panas yang terjadi jika panas mengalir dari tempat yang suhunya tinggi ke tempat yang suhunya lebih rendah, dengan media penghantar tetap. Secara umum, konduksi dirumuskan sebagai :

$$q = K A \left[\frac{dT}{dx} \right]$$

Atau,

$$\frac{q}{A} = K \left[\frac{\Delta T}{\Delta x} \right]$$

Dengan

- q : Laju perpindahan panas (J/s atau W)
 A : Luas permukaan (m^2)
 k : Konduktivitas termal ($W/m \text{ } ^\circ K$)
 ΔT : Perubahan temperatur ($^\circ C$)
 Δx : Tebal bahan (m)

Dalam konduksi kita mengenal istilah Konduktivitas Thermal (daya hantar panas) yaitu sifat bahan yang menunjukkan seberapa cepat suatu bahan menghantarkan panas konduksi. Pada umumnya nilai konduktivitas thermal (k) dianggap tetap, namun sebenarnya nilai k dipengaruhi oleh suhu (T).

Bahan-bahan yang memiliki konduktivitas panas yang baik disebut konduktor, contohnya bahan logam. Dan bahan yang mempunyai konduktivitas panas tidak bagus disebut isolator, contohnya bahan non logam.

1. Konduksi Panas pada Satu Bidang Datar

Konduksi panas pada satu bidang datar dapat dirumuskan :

$$\frac{q}{A} = K \left[\frac{\Delta T}{\Delta x} \right]$$

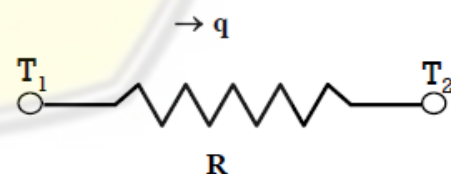
Dan dapat di analogikan sebagai aliran listrik (Hukum Ohm) :

$$I = \frac{V}{R} \Rightarrow q = - \frac{\Delta T}{\Delta x / kA}$$

Tabel 2. Konduktivitas Termal

Material/ Substance	k (W/m K)
Acrylic	0,2
Alumunium	205
Asbestos semen	0,74
Brick	0,15
Calsium Silicate	0,05
Cartonplast	0,158
Chromium	94
Clay	0,15 - 1,8
Copper	401
Cotton wool	0,029
Fiberglass	0,04
Glass, window	0,96
Iron	80
Leather	0,14
Mica	0,71
Nickel	91
Plasticine	0,65 - 0,8
Polycarbonate	0,19
Polyester	0,05
Polyethylene	0,33
Polypropylene	0,22
Polystrene	0,03
Polystyrol	0,043
Polyurethane foam	0,03
Porcelain	1,5
Polyvinylchoride	0,19
Rubber	0,13
Silicone cast resin	0,15 - 0,32
Wool felt	0,07
Zinc	116

Sumber : www.EngineeringToolBox.com

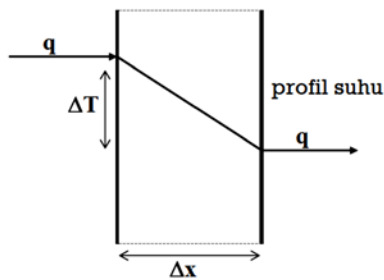


Gambar 2. Analogi Listrik pada Konduksi

Bila aliran dinyatakan dengan analogi listrik maka menjadi :

$$q = - \frac{\Delta T}{R} = - \frac{(T_2 - T_1)}{\Delta x / kA}$$

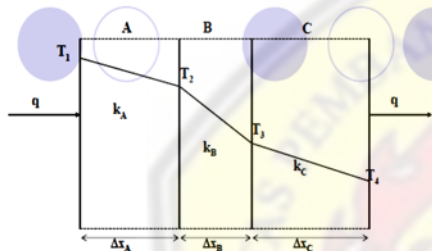
$$q = \frac{\Delta T}{R} = \frac{T_1 - T_2}{\Delta x / kA}$$



Gambar 3. Konduksi pada Satu Bidang Datar

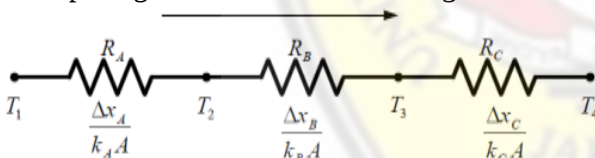
2. Konduksi Panas pada Benda berlapis

Apabila aliran panas dilewatkan pada bidang datar yang disusun berlapis-lapis dengan bahan yang berbeda, maka konduksi panas ini dapat disebut dengan konduksi panas benda berlapis. Aliran panas masuk dengan suhu T_1 dan keluar dengan suhu T_4 . Suhu antar muka masing-masingnya adalah T_2 dan T_3 . Contohnya pada konstruksi furnace, boiler, dan lainnya.



Gambar 4. Konduksi pada Benda Berlapis dan Tersusun Seri

Analogi listrik bahan yang disusun secara seri seperti gambar di atas ialah sebagai berikut :



Gambar 5. Analogi Listrik pada Konduksi Benda Berlapis

Persamaan aliran panas untuk seluruh bidang datar adalah :

$$q = \frac{\Delta T \text{ menyeluruh}}{\sum R_{th}}$$

R_{th} adalah jumlah tahanan thermal. Untuk bahannya yang disusun seri :

$$q = \frac{\Delta T \text{ menyeluruh}}{\sum R_{th}} = \frac{\Delta T}{R_A + R_B + R_C}$$

$$q = \frac{\frac{\Delta x_A}{k_A \cdot A} + \frac{\Delta x_B}{k_B \cdot A} + \frac{\Delta x_C}{k_C \cdot A}}{T_1 - T_4}$$

Pada keadaan steady state, panas yang masuk pada sisi muka sebelah kiri harus sama dengan panas yang meninggalkan sisi muka sebelah kanan,

$$q \text{ input} = q \text{ output}$$

Sehingga,

$$q = q_A = q_B = q_C$$

$$q = \frac{\Delta T}{\sum R_{th}} = \frac{\Delta T_A}{R_A} + \frac{\Delta T_B}{R_B} + \frac{\Delta T_C}{R_C}$$

$$q_A = \frac{T_1 - T_2}{\frac{\Delta x_A}{k_A \cdot A}}$$

$$q_B = \frac{T_2 - T_3}{\frac{\Delta x_B}{k_B \cdot A}}$$

$$q_C = \frac{T_3 - T_4}{\frac{\Delta x_C}{k_C \cdot A}}$$

Konveksi

Konveksi adalah perpindahan panas karena adanya gerakan/ aliran/ percampuran dari bagian panas ke bagian yang dingin. Menurut cara menggerakkan alirannya, perpindahan panas konveksi diklasifikasikan menjadi dua yakni konveksi bebas (*free convection*) dan konveksi paksa (*forced convection*). Bila gerakan fluida disebabkan karena adanya perbedaan kerapatan karena perbedaan suhu, maka perpindahan panasnya disebut konveksi bebas.

Secara umum, konveksi dapat dirumuskan:

$$q = h A (T_w - T_\infty)$$

dengan :

q :	Laju perpindahan panas	(J/s atau W)
A :	Luas permukaan	(m^2)
h :	Koefisien konveksi	($W/m^2 \cdot ^\circ K$)
T_w :	Temperatur dinding	($^\circ C$)
T_∞ :	Temperatur fluida	($^\circ C$)

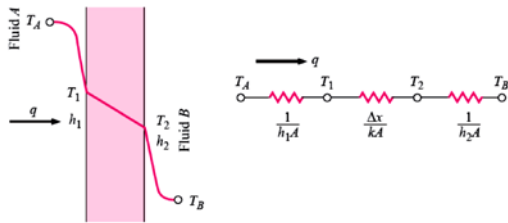
Tabel 3. Nilai koefisien konveksi udara dan air.

Conditions of heat transfer	$W/(m^2 K)$
Gases in free convection	5–37
Water in free convection	100–1200
Oil under free convection	50–350
Gas flow in tubes and between tubes	10–350
Water flowing in tubes	500–1200
Oil flowing in tubes	300–1700
Molten metals flowing in tubes	2000–45000
Water nucleate boiling	2000–45000
Water film boiling	100–300
Film-type condensation of water vapor	4000–17000
Dropsized condensation of water vapor	30000–140000
Condensation of organic liquids	500–2300

Sumber : www.thermopedia.com.

Koefisien Perpindahan Panas Keseluruhan

Perpindahan panas dapat terjadi pada sistem seperti gambar di bawah :



Gambar 5. Perpindahan Panas secara Keseluruhan

Perpindahan panas secara keseluruhan dapat dihitung sebagai perbandingan perubahan temperatur secara keseluruhan dengan jumlah resistansi termal.

$$q = \frac{T_A - T_B}{1/h_1 A + \Delta x/kA + 1/h_2 A}$$

Untuk mencari nilai h dari suatu fluida, dapat menggunakan persamaan

$$Nu = \frac{h \cdot L}{K}$$

Dimana :

Nu : Nusselt Number

h : Koefisien konveksi ($W/m^2 \cdot ^\circ K$)

L : Panjang benda (m)

K : Konduktivitas termal fluida ($W/m \cdot ^\circ K$)

Bilangan Nusselt adalah rasio pindah panas konveksi dan konduksi normal terhadap batas dalam kasus pindah panas pada permukaan fluida. Bilangan ini tidak bersatuan. Komponen konduktif diukur di bawah kondisi yang sama dengan konveksi dengan kondisi fluida stagnan atau tidak bergerak. Untuk konveksi bebas, rataan bilangan Nusselt dinyatakan sebagai fungsi dari bilangan Rayleigh dan bilangan Prandtl. Dan untuk konveksi paksa, rataan bilangan Nusselt adalah fungsi dari bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl. Hubungan empiris untuk berbagai geometri terkait konveksi menggunakan bilangan Nusselt didapatkan melalui eksperimen.

Bilangan Rayleigh dapat dicari dengan rumus :

$$Ra = Gr Pr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} \frac{\nu}{\alpha} = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu \alpha}$$

Dimana :

g : Gravitasi kecepatan (m/s^2)

ν : Kecepatan kinematik fluida (m^2/s)

β : Koefisien voulem ekspansi (K^{-1})

α : Difusivitas thermal (m^2/s)

k : Konduktivitas termal fluida ($W/m \cdot ^\circ K$)

L : Panjang geometri benda (m)

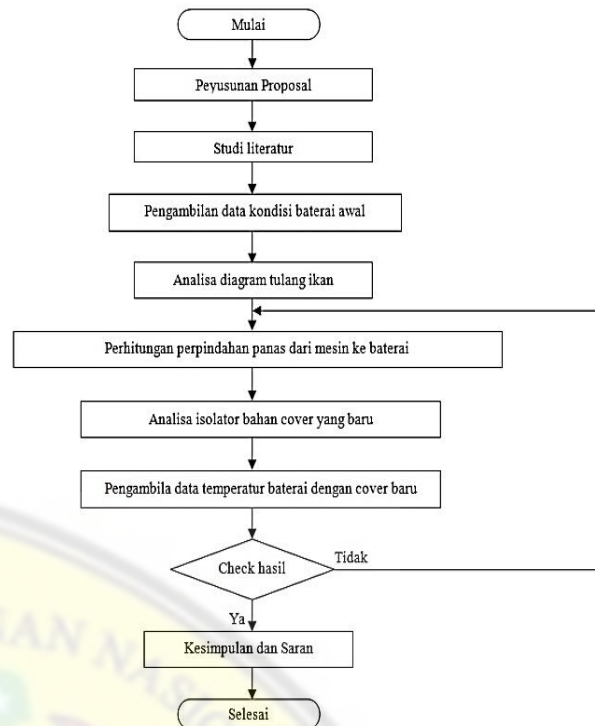
$Ra \leq 10^9$ maka aliran fluida adalah laminar sedangkan $Ra \geq 10^9$ maka aliran fluida adalah turbulen. Bilangan Nusselt dapat dicari dengan

$$Nu = \frac{h \cdot L}{K} = C \cdot Ra^n$$

METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi penelitian ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam melaksanakan sebuah penelitian. Metodologi penelitian dalam pembuatan

skripsi ini dapat digambarkan dalam diagram alir seperti berikut ini:

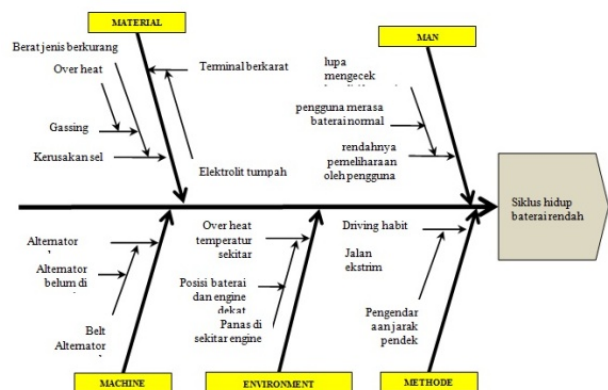


Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah awal dilakukan menggunakan analisa diagram tulang ikan, disebut juga *cause and effect* diagram merupakan sebuah alat yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menunjukkan hubungan antara sebab dan akibat agar dapat menemukan akar penyebab dari suatu permasalahan. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Kaoru Ishikawa dari Universitas Tokyo di tahun 1953 dan telah digunakan di beberapa perusahaan Jepang.

Pada diagram tulang ikan terdapat lima aspek yang mewakili kemungkinan akar suatu masalah, yaitu dari segi *man*, *material*, *methode*, *machine*, dan *environment*. Berikut adalah kemungkinan berusakan baterai dari beberapa aspek :



Gambar 7. Diagram Tulang Ikan

Prosedur Pengambilan data

Temperatur Cairan Baterai dengan Cover Lama

Tempat pengambilan data : Gedung Riset dan Pengembangan

Waktu pengambilan data : 09.00 – 16.00 WIB

Kondisi pengambilan data :

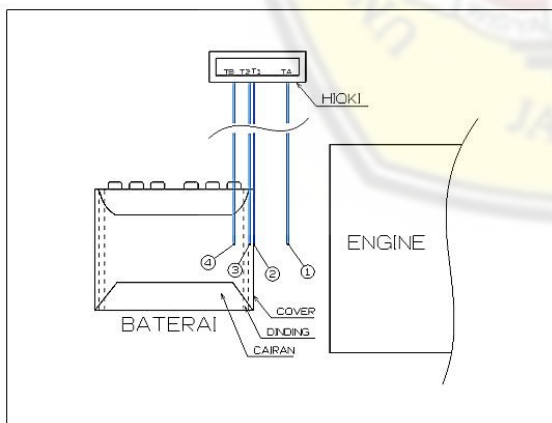
1. Temperatur lingkungan sekitar 28 - 30°C.
2. Kondisi mobil *idle* kecepatan ± 980 rpm.
3. Kondisi AC on maximal dingin, kaca jendela dibuka sepertiga untuk menjaga perputaran suhu.
4. Mobil di tempatkan di bawah pepohonan.

Besaran yang diamati :

1. Temperatur ruang mesin selama 180 menit, dicatat selama lima belas menit.
2. Temperatur cairan baterai selama 180 menit, dicatat selama lima belas menit.

Pengaturan dan Pemasangan Alat Ukur

1. Tempelkan kabel 1 ke sisi luar cartonplast
2. Tempelkan kabel 2 ke sisi luar dinding baterai
3. Lubangi kap ventilasi baterai dan masukan alat ke dalam cairan baterai. Tutup lubang yang masih terlihat sehingga tidak ada panas yang keluar.
4. Atur kabel 4 di dalam ruang mesin
5. Atur channel pembacaan temperatur dari hioki dengan :
Channel 1 : Temperatur ruang engine
Channel 2 : Temperatur cartonplast
Channel 3 : Temperatur dinding baterai
Channel 4 : Temperatur cairan baterai



Gambar 8. Kondisi Pengukuran Baterai dengan Cover Lama

6. Tutup engine hood dan tempelkan kabel ke badan mobil sehingga kabel tidak berantakan.
7. Masukkan hioki ke dalam kabin mobil.

Temperatur Cairan Baterai dengan Cover Baru

Tempat pengambilan data : Jakarta – Padalarang-Puncak

Waktu pengambilan data : 09.00 – 14.00 WIB

Kondisi pengambilan data :

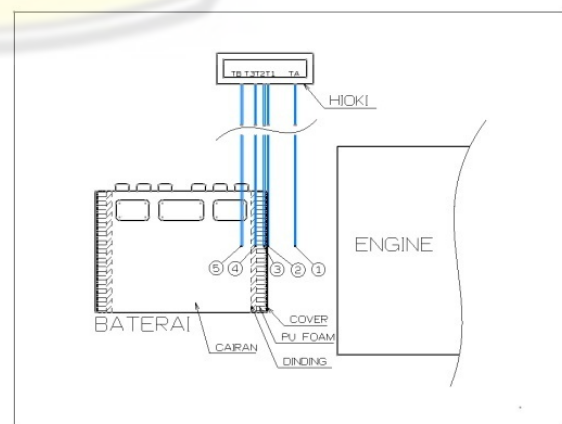
1. Temperatur lingkungan sekitar 29 – 32,5 °C.
2. Kondisi mobil running di jalanan Jakarta – Padalarang - Puncak
3. Kondisi AC on, kaca jendela dibuka sepertiga untuk menjaga perputaran suhu.

Point yang diamati :

1. Temperatur ruang mesin selama 300 menit, dicatat selama lima belas menit.
2. Temperatur cairan baterai selama 300 menit, dicatat selama lima belas menit.

Pengaturan dan Pemasangan Alat Ukur

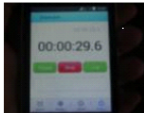
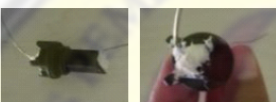
1. Tempelkan kabel 1 ke sisi luar cartonplast
2. Tempelkan kabel 2 ke sisi dalam cartonplast (Foam)
3. Tempelkan kabel 3 ke sisi luar dinding baterai
4. Lubangi cap ventilasi baterai dengan bor dan masukan alat ukur ke sampai masuk ke dalam cairan baterai. Tutup lubang yang masih terlihat sehingga tidak ada panas yang keluar.
5. Atur kabel 4 di dalam ruang engine
6. Atur channel pembacaan temperatur dari hioki dengan :
Channel 1 : Temperatur ruang engine
Channel 2 : Temperatur cartonplast sisi luar
Channel 3 : Temperatur cartonplast sisi dalam (Foam)
Channel 4 : Temperatur dinding Baterai sisi luar
Channel 5 : Temperatur cairan baterai
7. Tutup engine hood dan tempelkan kabel ke badan mobil sehingga kabel tidak berantakan.
8. Masukkan hioki ke dalam kabin mobil.



Gambar 9. Kondisi Pengukuran Baterai dengan Cover Baru

Alat dan Bahan

Tabel 4. Alat dan Bahan Penelitian

No	Alat dan Bahan	Gambar
1	Hioki data logger	
2	Stopwatch	
3	Baterai tipe hybrid 12V berkulit cover cartonplast terpasang	
4	Mobil dengan kapasitas mesin 1500 cc.	
5	Termometer	
6	Cap ventilasi yang sudah di bongki	

Spesifikasi Bahan Cover dan Baterai Lama

Bahan yang digunakan dalam penelitian adalah Cover Baterai dari cartonplast, dan kotak baterai dengan material Polypropylene (PP).

Tabel 5. Spesifikasi Bahan Penelitian

Nama	Bahan	K (W/m K)	t (mm)	L (m)
Cover Baterai	Cartonplast	0,158	2,5	0,117
Isolasi	Polyurethane	0,03	7,5	0,117
Kotak Baterai	Polypropylene	0,22	5	0,177

Pengolahan Data dan Perhitungan

Perhitungan Perpindahan Panas pada Cover Lama

Tabel 6. Pengukuran Temperatur Baterai dengan Cover Lama

time (minute)	PENGUKURAN TEMPERATUR (C)			
	Ruang mesin [TA]	Cartonplast [T1]	Dinding Baterai [T2]	Cairan baterai [TB]
start	29,8	27,2	26,9	26
15	57	36,2	34,2	29,2
30	65,5	39,7	37,1	32,1
45	69,7	42,8	41,2	37
60	70,4	49,4	46,8	42,7
75	70,6	54,4	52,2	47,3
90	67,3	55,9	54,8	51,2
105	66,1	59,7	58	53,8
120	66,9	62,7	60,4	56,7
135	69,9	63,4	62,1	58,7
150	70,2	64,7	63,2	60,4
165	69,9	66,6	64,4	60,7
180	69,8	68,9	67,3	64,4

Perhitungan konduksi

Pada menit ke 180, diketahui :

$$T1 : 68,9^{\circ}\text{C} = 341,9^{\circ}\text{K}$$

$$T2 : 67,3^{\circ}\text{C} = 340,3^{\circ}\text{K}$$

$$\Delta T1 : T1 - T2$$

$$: 341,9^{\circ}\text{K} - 340,3^{\circ}\text{K} = 1,6^{\circ}\text{K}$$

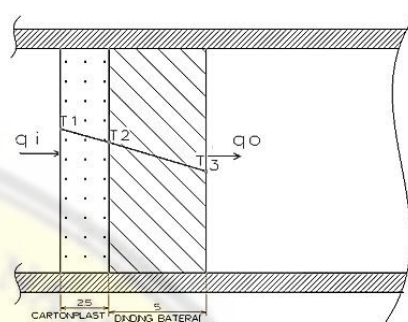
$$\Delta x1 : 2,5 \text{ mm} = 0,0025 \text{ m}$$

$$k1 : \text{cartonplast} = 0,158 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$$

$$q1 = k \cdot A \frac{\Delta T1}{\Delta x1}$$

$$\frac{q1}{A} = 0,158 \text{ W/mK} \cdot \frac{1,6 \text{ K}}{0,0025 \text{ m}}$$

$$\frac{q1}{A} = 101,1 \text{ W/m}^2$$



Gambar 10. Konduksi Lapis Seri pada Baterai

Besarnya laju perpindahan panas pada Cartonplast adalah sebesar 101,1 W/m².

Untuk mengetahui T3 atau Temperatur Dinding Baterai bagian Dalam, maka dapat dihitung sebagai berikut :

$$\frac{q1}{A} = \frac{q2}{A}$$

$$101,1 \text{ W} = \frac{q2}{\Delta T2}$$

$$101,1 \text{ W} = \frac{q2}{R2}$$

Diketahui dari pengukuran :

$$T2 : 67,3^{\circ}\text{C} = 340,3^{\circ}\text{K}$$

$$\Delta T2 : T2 - T3$$

$$\Delta x2 : 5,0 \text{ mm} = 0,005 \text{ m}$$

$$k2 : \text{PP} = 0,22 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$$

maka,

$$q2 = k \cdot A \frac{\Delta T2}{\Delta x2}$$

$$\frac{q1}{A} = \frac{q2}{A}$$

$$q1 = 0,22 \text{ W/mK} \cdot \frac{\Delta T2}{0,005 \text{ m}}$$

$$\Delta T2 = 2,7 \text{ K}$$

$$\Delta T2 = T2 - T3$$

$$2,7^{\circ}\text{K} = 340,3^{\circ}\text{K} - T3$$

$$T3 = 340,3^{\circ}\text{K} - 2,7^{\circ}\text{K} = 338^{\circ}\text{K} = 65^{\circ}\text{C}$$

$$\Sigma R_{th} = R1 + R2$$

$$\Sigma R_{th} = \frac{\Delta x1}{k1} + \frac{\Delta x2}{k2} = \frac{0,0025 \text{ m}}{0,158 \text{ W/mK}} + \frac{0,005 \text{ m}}{0,22 \text{ W/mK}}$$

$$q_{cond} = \frac{\Delta T}{\Sigma R_{th}} = \frac{T1 - T3}{\Sigma R_{th}}$$

$$q_{\text{cond}} = \frac{341,9 \text{ K} - 338 \text{ K}}{0,0386 \text{ K.m}^2/\text{W}}$$

$$q_{\text{cond}} = 101,1 \text{ W/m}^2.$$

Perhitungan Konveksi dan Perpindahan Panas Menyeluruh

Besarnya laju perpindahan panas menyeluruh dapat dicari :

$$q = \frac{TA - TB}{1/h_1 A + \Delta x/kA + \Delta x/kA + 1/h_2 A}$$

Untuk mengetahui nilai koefisien perpindahan panas konveksi udara dan cairan baterai, maka digunakan rumus :

$$Nu = \frac{h.L}{K}$$

Dan nilai dari bilangan nusselt dapat dicari dengan persamaan di bawah :

$$Nu = \frac{h.L}{K} = C. Ra^n$$

Dengan nilai Ra dirumuskan :

$$Ra = Gr Pr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} \frac{\nu}{\alpha} = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu \alpha}$$

Maka pada menit ke 180, dengan temperatur udara terukur (TA) 69, 8 °C atau 342, 8 °K , didapatkan sifat udara pada tabel termodinamika :

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\nu = 2,0 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = 2,89 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\alpha = 2,8 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 29 \times 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{K}$$

$$L = 0,117 \text{ m}$$

$$T_{\text{udara}} = 342,8 \text{ K}$$

$$T_1 = 341,9 \text{ K}$$

Maka dengan persamaan Rayleigh dapat dicari:

$$Ra = Gr Pr = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu^2} \frac{\nu}{\alpha} = \frac{g \beta (T_s - T_\infty) L_c^3}{\nu \alpha}$$

$$Ra = \frac{10,2,89 \times 10^{-3} (342,8 - 341,9) (0,117)^3}{12,0 \times 10^{-5} \cdot 2,8 \times 10^{-6}}$$

$$Ra = 7,3 \times 10^8 \leq 10^9$$

Aliran fluida adalah laminar maka nilai :

$$n = 1/4$$

$$c = 0,59$$

$$Nu = \frac{h_1 L}{K_1} = C. Ra^n$$

$$Nu = \frac{h_1 L}{K_1} = 0,59. (7,3 \times 10^8)^{1/4}$$

$$Nu = \frac{h_1 L}{K_1} = 93,7$$

Maka dapat dicari nilai h :

$$93,7 = \frac{h_1 \cdot 0,117 \text{ m}}{0,029 \text{ W/m}^\circ\text{K}}$$

$$h_1 = 24,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

untuk fluida cairan baterai, diasumsikan sifat fisik air pada temperatur (TB) 64,4 °C atau 337,4 °K , maka diketahui :

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

$$\nu = 4,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\beta = 2,9 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1}$$

$$\alpha = 1,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 0,654 \text{ W/m}^\circ\text{K}$$

$$L = 0,117 \text{ m}$$

$$T_{\text{air}} = 337,4 \text{ K}$$

$$T_3 = 338 \text{ K}$$

Maka dengan persamaan Rayleigh dapat dicari:

$$Ra = \frac{10,2,9 \times 10^{-3} \cdot (337,4 - 338)^0 \cdot (0,117)^3}{4,5 \times 10^{-7} \cdot 1,5 \times 10^{-7}}$$

$$Ra = 385583301 = 3,85 \times 10^8 \leq 10^9$$

Aliran fluida adalah laminar maka nilai :

$$n = 1/4$$

$$c = 0,59$$

$$Nu = \frac{h_2 L}{K_2} = C. Ra^n$$

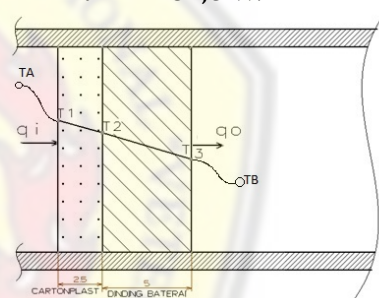
$$Nu = \frac{h_2 L}{K_2} = 0,59. 3,85 \times 10^8^{1/4}$$

$$Nu = \frac{h_2 L}{K_2} = 82,67$$

Maka dapat dicari nilai h :

$$82,67 = \frac{h_2 \cdot 0,117 \text{ m}}{0,654 \text{ W/m}^\circ\text{K}}$$

$$h_2 = 462,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



Gambar 11. Laju Perpindahan Panas Menyeluruh

Maka besarnya laju perpindahan panas menyeluruh ialah :

$$q = \frac{TA - TB}{1/h_1 A + \Delta x_1/k_1 A + \Delta x_2/k_2 A + 1/h_2 A}$$

$$q = \frac{TA - TB}{1/h_1 + \sum R_{th} + 1/h_2}$$

Dimana TA dan TB dari pengukurun sebagai berikut :

$$TA = 342,8 \text{ K}$$

$$TB = 337,4 \text{ K}$$

$$h_1 = 24,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

$$h_2 = 462,6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

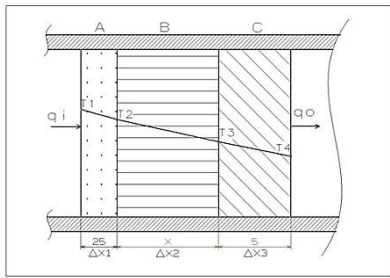
$$\sum R_{th} = 0,0386 \text{ K m}^2/\text{W}$$

$$q = \frac{(342,8 - 337,4) \text{ K}}{\frac{1}{24,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}} + 0,0386 \text{ K m}^2/\text{W} + \frac{1}{462 \text{ W/m}^2 \text{ K}}}$$

$$q \text{ menyeluruh} = 66,182 \text{ W/m}^2$$

Perhitungan Tebal Isolasi Cover Baterai

Berdasarkan gambar konduksi lapisan seri di bawah, dengan temperatur dinding baterai bagian dalam (T4) dipertahankan 40°C, maka dapat dicari:



Gambar 12. Penambahan Isolasi Cover

$$\begin{aligned}
 T4 &: 40^{\circ}\text{C} = 313^{\circ}\text{K} \\
 \Delta x3 &: 5,0 \text{ mm} = 0,005 \text{ m} \\
 k3 &: \text{PP} = 0,22 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \\
 101,1 \text{ W/m}^2 &= q3 \\
 101,1 \text{ W/m}^2 &= K3 \frac{\Delta T3}{\Delta x3} \\
 101,1 \text{ W/m}^2 &= 0,22 \text{ W/m}^{\circ}\text{K} \frac{\Delta T3}{0,005 \text{ m}} \\
 (T3 - 313^{\circ}\text{K}) &= 2,29 \text{ K} \\
 T3 &= 2,29 + 313^{\circ}\text{K} \\
 T3 &= 315,3^{\circ}\text{K} \\
 T3 &= 42,29^{\circ}\text{C} \\
 T2 - T3 &= 340,3^{\circ}\text{K} - 315,3^{\circ}\text{K} \\
 T2 - T3 &= 25^{\circ}\text{K} \\
 \Delta T2 &= 25^{\circ}\text{K}
 \end{aligned}$$

Dengan nilai K Polyurethane : 0,03 W/ m K, maka dapat dicari

$$\begin{aligned}
 q1 &= q2 \\
 101,12 \text{ W/m}^2 &= K2 \frac{\Delta T2}{\Delta x2} \\
 101,12 \text{ W/m}^2 &= 0,003 \text{ W/mK} \frac{25 \text{ K}}{\Delta x2} \\
 \Delta x2 &= 0,0074 \text{ m} = 7,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum R_{th} &= R1 + R2 + R3 \\
 \sum R_{th} &= \frac{\Delta x1}{k1} + \frac{\Delta x2}{k2} + \frac{\Delta x3}{k3} \\
 \sum R_{th} &= \frac{0,0025 \text{ m}}{0,158 \text{ W/mK}} + \frac{0,005 \text{ m}}{0,22 \text{ W/mK}} \\
 &+ \frac{0,074 \text{ m}}{0,03 \text{ W/mK}} \\
 \sum R_{th} &= 0,289 \text{ K} \cdot \text{m}^2/\text{W}
 \end{aligned}$$

Besarnya $\sum R_{th}$ pada cover dengan penambahan isolasi adalah: 0,289 K $\cdot$ m²/ W.

Perhitungan Perpindahan Panas pada Cover Baru

Tabel 7. Pengukuran Temperatur Baterai dengan Cover Baru

time (minute)	PENGUKURAN TEMPERATUR (C)					
	Lingkungan	Ruang mesin [TA]	Cartonplast [T1]	PU [T2]	Dinding baterai [T3]	Cairan baterai [TB]
start	29	36,2	33,9	31,9	29,9	26,2
15	29,5	49,1	46,7	45,1	35,1	29,4
30	31	61	58	55,8	34	30
45	31,2	66,7	63,7	61,7	38,7	34,7
60	31	62,6	58,6	57,4	36,6	32,9
75	32,3	70,2	66,4	65	42,4	38,2
90	30	56,1	52,9	51,1	37,9	34,4
105	32,3	69,9	66,3	65	41,3	37,6
120	32	62,4	59,3	58,1	39,3	36,5
135	30	62,7	59,5	58,4	39,5	36,5
150	28,9	59,7	56,7	55,6	37,7	33,7
165	31,2	70,1	66,6	65,5	44,6	40,6
180	31,5	72,4	69,1	67,9	47,1	43,1
195	31	74,5	71,4	70,5	49,4	45,4
210	31	73,7	70,5	69,5	46,5	42,4
225	31	60,9	57,9	56,8	37,9	34,9
240	31,4	65,4	62,4	61,3	42,4	38,4
255	31,2	68,1	65	63,9	43	39,8
270	31,5	71	67,6	66,5	44,6	40
285	31	71,7	68,3	67,2	43,3	39,3
300	28,7	64,3	61,1	60	39,1	37,1

Dari data pengukuran untuk cover baru, dapat dicari nilai q pada menit ke 300 :

$$\begin{aligned}
 T1 &: 61,1^{\circ}\text{C} = 334,1^{\circ}\text{K} \\
 T2 &: 60^{\circ}\text{C} = 333^{\circ}\text{K} \\
 \Delta T1 &: T1 - T2 \\
 &: 334,1^{\circ}\text{K} - 333^{\circ}\text{K} = 1,1^{\circ}\text{K} \\
 K1 &: 0,158 \text{ W/m K} \\
 \Delta x1 &: 0,0025 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 q1 &= K1 \cdot A \frac{\Delta T1}{\Delta x1} \\
 \frac{q1}{A} &= 0,158 \text{ W/mK} \frac{1,1 \text{ K}}{0,0025} \\
 \frac{q1}{A} &= 69,5 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

Untuk nilai q2 adalah :

$$\begin{aligned}
 q2 &= K2 \cdot A \frac{\Delta T2}{\Delta x2} \\
 T2 &: 60^{\circ}\text{C} = 333^{\circ}\text{K} \\
 T3 &: 39,1^{\circ}\text{C} = 312,1^{\circ}\text{K} \\
 \Delta T2 &: T1 - T2 \\
 &: 333^{\circ}\text{K} - 312,1 = 20,9^{\circ}\text{K} \\
 K2 &: 0,03 \text{ W/m K} \\
 \Delta x2 &: 0,0074 \text{ W/mK}
 \end{aligned}$$

Maka,

$$\begin{aligned}
 q2 &= K2 \cdot A \frac{\Delta T2}{\Delta x2} \\
 \frac{q2}{A} &= 0,03 \text{ W/mK} \frac{20,9 \text{ K}}{0,0074} \\
 \frac{q2}{A} &= 83,6 \text{ W/m}^2
 \end{aligned}$$

Dengan demikian didapatkan nilai T4 sebagai berikut :

$$\frac{q_2}{A} = \frac{q_3}{A}$$

$$\begin{aligned} K_3 &: 0,22 \text{ W/m K} \\ \Delta X_3 &: 0,005 \text{ W/ mK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 83,6 \text{ W/m}^2 &= K_3 \cdot A \cdot \frac{\Delta T_3}{\Delta X_3} \\ 83,6 \text{ W/m}^2 &= 0,22 \text{ W/mK} \cdot \frac{T_3 - T_4}{0,005 \text{ m}} \\ T_4 &= 310,2 \text{ }^\circ\text{K} \\ T_4 &= 37,2 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat di cari q total konduksi pada cover baru adalah :

$$\begin{aligned} q_{\text{cond}} &= \frac{T_1 - T_4}{\sum R_{th}} \\ q_{\text{cond}} &= \frac{T_1 - T_4}{\frac{R_1 + R_2 + R_3}{334,1 \text{ K} - 310,2 \text{ K}}} \\ q_{\text{cond}} &= \frac{(0,0158 + 0,250 + 0,023) \text{ Km}^2/\text{W}}{82,87 \text{ W/m}^2} \end{aligned}$$

Besarnya hambatan termal pada cover baru adalah $\sum R_{th} 0,289 \text{ K/W m}^2$.

Mencari nilai h udara disekitar mesin :

Diketahui dari tabel sifat udara pada suhu $64,3 \text{ }^\circ\text{C}$ atau $337,3^\circ\text{K}$

$$\begin{aligned} g &= 10 \text{ m/s}^2 \\ v &= 1,9 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \\ \beta &= 2,96 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \\ \alpha &= 2,8 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s} \\ k &= 29 \text{ W/m }^\circ\text{K} \\ L &= 0,117 \text{ m} \\ T_w &= 337,3 \text{ K} \\ T_\infty &= 334,1 \text{ K} \end{aligned}$$

Maka dengan persamaan Rayleigh dapat dicari:

$$Ra = \frac{10,29 \times 10^{-3} (337,3 - 334,1) \cdot (0,117)^3}{1,9 \times 10^{-5} \cdot 2,8 \times 10^{-5}}$$

$$Ra = 1,7 \times 10^8 \leq 10^9$$

Aliran fluida adalah laminar maka nilai :

$$\begin{aligned} n &= 1/4 \\ c &= 0,59 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu &= \frac{h_1 L}{K_1} = C \cdot Ra^n \\ Nu &= \frac{h_1 L}{K_1} = 0,59 \cdot (1,7 \times 10^8)^{1/4} \\ Nu &= \frac{h_1 L}{K_1} = 67,67 \end{aligned}$$

Maka dapat dicari nilai h :

$$\begin{aligned} 67,67 &= \frac{h_1 \cdot 0,117 \text{ m}}{29 \text{ W/m K}} \\ h_1 &= 16,79 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

Mencari nilai h cairan baterai, jika properti dianggap sama dengan air :

Diketahui dari tabel sifat air pada suhu

$$\begin{aligned} v &= 7,08 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \\ \beta &= 1,8 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \\ \alpha &= 1,43 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \\ k &= 0,623 \text{ W/m }^\circ\text{K} \end{aligned}$$

$$L = 0,117 \text{ m}$$

$$T_w = 37,2 \text{ }^\circ\text{C} = 310,2 \text{ K}$$

$$T_s = 37,1 \text{ }^\circ\text{C} = 310,1 \text{ K}$$

Maka dengan persamaan Rayleigh dapat dicari:

$$Ra = \frac{10,18 \times 10^{-3} (310,2 - 310,1) \cdot (0,117)^3}{7,08 \times 10^{-7} \cdot 1,43 \times 10^{-7}}$$

$$Ra = 3,59 \times 10^7 \leq 10^9$$

Aliran fluida adalah laminar maka nilai :

$$\begin{aligned} n &= 0,59 \\ c &= 1/4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Nu &= \frac{h \cdot L}{K} = C \cdot Ra^n \\ Nu &= \frac{h \cdot L}{K} = 0,59 \cdot (3,59 \times 10^7)^{1/4} \\ Nu &= \frac{h \cdot L}{K} = 45,6 \end{aligned}$$

Maka dapat dicari nilai h :

$$\begin{aligned} 45,6 &= \frac{h \cdot 0,117 \text{ m}}{0,623 \text{ W/m K}} \\ h_2 &= 233,035 \text{ W/m}^2\text{K} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan nilai h udara dan air, maka perpindahan panas menyeluruh dapat dicari dengan persamaan :

$$q/A = \frac{T_A - T_B}{1/h_1 + \sum R_{th} + 1/h_2}$$

Dimana T_A dan T_B dari pengukurun sebagai berikut :

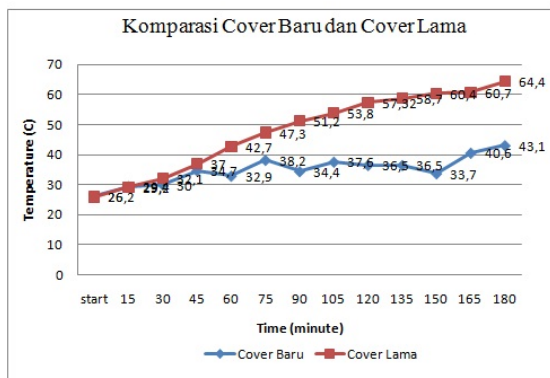
$$\begin{aligned} T_A &= 337,3 \text{ K} \\ T_B &= 310,1 \text{ K} \\ h_1 &= 16,79 \text{ W/m}^2\text{K} \\ h_2 &= 233,035 \text{ W/m}^2\text{K} \\ \sum R_{th} &= 0,289 \text{ Km}^2/\text{W} \end{aligned}$$

$$q = \frac{(337,3 - 310,1) \text{ K}}{\frac{1}{16,79 \text{ W/m}^2\text{K}} + 0,289 \text{ Km}^2/\text{W} + \frac{1}{233,03 \text{ W/m}^2\text{K}}}$$

$$q \text{ menyeluruh} = 57,1 \text{ W/m}^2$$

ANALISIS DAN PEMBAHASAN DATA

Dari hasil pengukuran menggunakan cover lama dan cover baru, didapatkan hasil temperatur cairan baterai pada cover lama adalah $64,4 \text{ }^\circ\text{C}$ dan pada cover baru adalah $43,1 \text{ }^\circ\text{C}$ dalam 180 menit berkendara, didapatkan bahwa temperatur cairan baterai pada cover lama lebih tinggi dibandingkan dengan cover baru. Hal ini dikarenakan cover baru dilengkapi penambahan isolasi Polyurethane

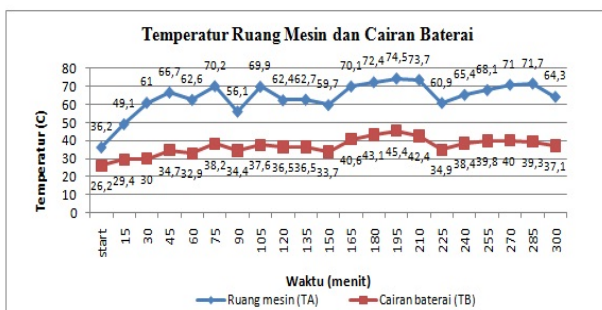


Gambar 13. Komparasi Temperatur Baterai Cover Baru dan Lama

Cover lama merupakan bahan cartonplast dengan tebal 2.5 mm tanpa isolasi polyurethane, karenanya, penyerapan panas menjadi lebih besar. Panas dari mesin melewati dua lapis bahan yang terdiri dari cover luar (cartonplast t2.5mm) dan dinding baterai (PP t5mm). Penyerapan panas yang terjadi pada cover lama ialah $66,18 \text{ W/m}^2$, dan temperatur cairan baterai adalah $64,4^\circ\text{C}$.

Sementara itu cover baru merupakan bahan cartonplast dengan tebal 2.5 mm dengan isolasi Polyurethane, karenanya penyerapan panas menjadi lebih kecil dibandingkan cover lama. Panas dari mesin melewati tiga lapis bahan yang terdiri dari cover luar (cartonplast t2.5mm), isolasi Polyurethane (PU t735mm), dan dinding baterai (PP t5mm). Penyerapan panas yang terjadi pada cover baru ialah $57,1 \text{ W/m}^2$.

Penambahan isolasi pada cover baru dilakukan untuk mendapatkan nilai hambatan thermal yang lebih besar, yang akan menurunkan nilai laju perpindahan panas pada cover. Pada perhitungan, didapatkan tebal isolasi adalah 7,4 mm dan temperatur cairan baterai dipertahankan 40°C . Namun pada cover, isolasi yang digunakan adalah dengan ketebalan 7,5 mm sesuai dengan yang tersedia di pasaran.



Gambar 14. Temperatur ruang dan cairan baterai

Dari grafik pengukuran temperatur ruang mesin dan cairan baterai selama 300 menit, dapat dilihat temperatur cairan baterai tertinggi ialah $45,4^\circ\text{C}$ pada menit ke 195. Kenaikan temperatur

dari target 40°C dipengaruhi oleh kondisi temperatur dan keadaan lingkungan. Pada kondisi tersebut, temperatur ruang mesin adalah $74,5^\circ\text{C}$ dan keadaan jalanan yang padat. Oleh karena itu, kondisi lingkungan sangat mempengaruhi perubahan temperatur cairan baterai.



Gambar 15. Cover Baterai Baru

Pemilihan isolasi baru pada cover ialah bahan dengan nilai konduktivitas termal rendah. Konduktivitas Termal (daya hantar panas) yaitu sifat bahan yang menunjukkan seberapa cepat suatu bahan menghantarkan panas konduksi. Dalam persamaan konduksi yaitu $q/A = k \cdot \Delta T / \Delta X$, nilai q berbanding lurus dengan nilai k . Artinya semakin besar k , maka semakin besar nilai q , dan sebaliknya, semakin kecil nilai k , maka semakin kecil pula laju perpindahan panas q .

Nilai hambatan termal total $\sum R_{th}$ untuk cover lama ialah 0,0386 sedangkan cover baru ialah 0,289. Semakin besar hambatan termal maka semakin kecil nilai q konduksi yang dihasilkan. Pada cover lama, besarnya laju perpindahan panas konduksi adalah $101,12 \text{ W/m}^2$ sedangkan pada cover baru adalah $82,87 \text{ W/m}^2$. Penurunan besar laju perpindahan panas konduksi pada cover baru dikarenakan adanya penambahan isolasi Polyurethane, sehingga total hambatan termal pada cover baru menjadi lebih besar.

Beberapa bahan dengan nilai konduktivitas termal rendah dapat digunakan sebagai bahan cover baterai, seperti Fiberglass K : $0,04 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, Wool felt K : $0,07 \text{ W/m}^\circ\text{K}$, Polyester $0,05 \text{ W/m}^\circ\text{K}$ dan lainnya. Bahan tersebut dapat digunakan sesuai dengan kebutuhan produsen mobil, syarat dan standar perusahaan, serta sesuai dengan budget proyek suatu unit mobil.

SIMPULAN

Dari pengukuran dan perhitungan dapat disimpulkan bahwa

1. Besarnya q konduksi pada cover lama adalah $101,12 \text{ W/m}^2$ dan pada cover baru adalah $82,87 \text{ W/m}^2$.
2. Besarnya $\sum R_{th}$ pada cover lama adalah $0,0386 \text{ K m}^2/\text{W}$ dan pada cover baru adalah $0,2886 \text{ K m}^2/\text{W}$.

3. Besarnya laju perpindahan panas menyeluruh pada cover lama adalah $66,18 \text{ W/ m}^2$ dan pada cover baru adalah $57,1 \text{ W/ m}^2$.
4. Pemilihan isolasi Polyurethane dilakukan karena memiliki nilai konduktivitas thermal yang rendah.
5. Ketebalan isolasi Polyurethane adalah 7,5 mm.
6. Besarnya temperatur cairan baterai pada menit ke 180 untuk cover lama adalah $64,4^\circ\text{C}$ sedangkan dengan penambahan tebal isolasi dan modifikasi cover baterai, temperatur cairan baterai menjadi $45,4^\circ\text{C}$.
7. Cover baru memiliki nilai q dan temperatur cairan baterai lebih kecil dari pada cover lama. Dan cover baru memiliki hambatan thermal total yang lebih besar dari pada cover lama.
8. Nilai q bergantung pada besarnya hambatan thermal. Semakin besar nilai hambatan, semakin kecil nilai q .
9. Nilai q menyeluruh ditentukan oleh koefisien perpindahan panas konveksi dan perubahan temperatur fluida.

DAFTAR PUSTAKA

- Holpman, J.P., *Heat Transfer* 10th edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York, 2010.
- Yunus, Asyari D., *Diktat Perpindahan Panas dan Massa*, Universitas Darma Persada, Jakarta, 2009.
- Mitrakusuma, Windy, H., *Diktat Dasar Refrigerasi- B2 Termodinamika dan Perpindahan Panas*, Paper.
- _____, *JIS D5301-2006*, Japanese Standards and Association, Tokyo, 2006.
- _____, *Charging Valve Regulated Lead Acid Battery*, C&D Technology, Inc, USA, 2012.
- _____, *Lead Acid Battert- Technical Paper*, PowerThrough, USA, 2012.
- _____, *Handbook for Stationary Lead-Acid Batteries – Part 1: Basics, Design, Operation Modes and Applications*, GNB Industrial Power, - , 2012.
- Yoder, John A, *DOE Handbook – Primer on Lead Acid Storage Batterie*, Department of Energy, Washington, D.C, 1995.