

PENGEMBANGAN DESAIN SISTEM PENGKONDISIAN UDARA KERETA API OLEH PT. INKA (PERSERO)

DESIGN DEVELOPMENT OF RAILWAY AIR CONDITIONING SYSTEM BY PT. INKA (PERSERO)

¹Taufik Hidayat dan ²Firdausa Retnaning Restu

¹UPT Balai Pengembangan Instrumentasi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Gedung 30 Jl. Sangkuriang
Bandung-Indonesia

²Departemen Litbang dan Rekayasa PT. Industri Kereta Api (Persero) Jl. Yos Sudarso 71, Madiun-Indonesia

¹taufiklipi@gmail.com

²firdausa.rrestu@inka.co.id

Diterima: 2 Februari 2017, Direvisi: 8 Februari 2017, Disetujui: 21 Februari 2017

ABSTRACT

Air Conditioning (AC) is a whole system that conditions the air in a room by adjusting the amount of thermal such as temperature and humidity as well as the freshness and cleanliness of the air in order to obtain a comfortable indoor condition. The need for AC as one of supporting factor for the convenience of railway facilities in Indonesia and global market is increasing. The aim of this study is to analyse the development of AC production in PT. INKA, as one of efforts to contribute to the development of AC which fits the needs of railway facilities by considering certain factors and as an effort for the efficiency and effectiveness of the productions. The research methodology was based on policy evaluation approach (regulations and formal documents), using secondary data such as literatures, books, reports, and other related documents. The data were collected from related institutions based on their data analysis, particularly PT. INKA by using methods of quantitative and qualitative descriptive analysis, as well as literature methods. AC design that meets the cooling capacity could be obtained by using cooling load calculation to calculate the needs for cooling. Then, it is adjusted to the capacity of cooling AC and to the design of air distribution evenly throughout the room. The result of calculating and testing AC production of PT. INKA conducted by ITS showed that AC production of PT. INKA has cooling capacity until 46,876,05 kCal/hour. It has exceeded the design capacity of 40000 kCal/hour. It means that the performance of AC INKA could accommodate the cooling load, exceeding the design of the cooling capacity of up to 17.19%. At the time of testing on the track operation of PT. KAI, based on UIC 533 standard and AC produced by PT. INKA could condition the air as needed in the train room with an average yield of room temperature was 20.45 Celsius -21.65 Celsius and average air velocities at passenger train was measured by 0.089 to 0.09 m/sec. The average value of the measured air temperature below the standard 22 Celsius indicates that the AC performance is capable of achieving temperatures below target.

Keywords: AC, coaches/trains, passenger's room temperature, air velocities, cooling capacity

ABSTRAK

Air Conditioning (AC) adalah keseluruhan sistem yang mengkondisikan udara di dalam suatu ruangan dengan mengatur besaran termal seperti temperatur dan kelembaban udara serta kesegaran dan kebersihan udara sehingga diperoleh kondisi ruangan yang nyaman. Kebutuhan akan AC sebagai salah satu faktor penunjang kenyamanan di sarana perkeretaapian di Indonesia dan pasar global semakin meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji mengenai perkembangan produksi AC di PT. INKA, sebagai bentuk upaya untuk ikut andil dalam pengembangan AC yang sesuai kebutuhan sarana kereta api dengan mempertimbangkan faktor-faktor tertentu dan sebagai upaya untuk efisiensi dan efektifitas produksi. Metode penelitian ini didasarkan pada pendekatan evaluasi kebijakan (peraturan perundangan dan dokumen formal) menggunakan data sekunder berupa literatur, buku, laporan dan dokumen terkait, diperoleh dari instansi-instansi terkait sesuai kebutuhan analisis data, khususnya PT. INKA dengan metode analisis deskriptif kuantitatif dan kualitatif, serta metode kepustakaan. Untuk memperoleh desain AC yang memenuhi kapasitas pendinginan sesuai kebutuhan, dapat dilakukan dengan menghitung kebutuhan pendinginan melalui perhitungan cooling load (beban pendinginan) ruangan, yang kemudian disesuaikan dengan kapasitas pendinginan AC yang dipilih dan dengan desain distribusi udara yang merata keseluruh ruangan. Hasil perhitungan dan pengujian AC produksi PT. INKA telah dilakukan oleh ITS menunjukkan bahwa AC produksi PT. INKA memiliki kapasitas pendinginan mencapai 46.876,05 kCal/jam, telah melebihi kapasitas desain sebesar 40.000 kCal/jam. Ini bermakna bahwa performansi AC INKA mampu menampung beban pendinginan melebihi desain kapasitas pendinginan hingga 17.19%. Pada saat dilakukan pengujian di lintasan operasi PT. KAI, berdasarkan standar UIC 533 dan AC produksi PT. INKA mampu mengkondisikan udara sesuai kebutuhan ruang kereta dengan hasil rata-rata temperatur ruang adalah 20.45 °C - 21.65 °C dan rata-rata kecepatan udara pada kereta penumpang yang terukur adalah 0.089-0.09 m/detik. Nilai rata-rata temperatur udara yang terukur dibawah standar (22°C) menunjukkan bahwa performansi AC mampu mencapai temperatur di bawah target.

Kata Kunci: AC, kereta api, temperatur ruang penumpang, kecepatan udara, kapasitas pendinginan

PENDAHULUAN

Pengkondisian udara (air conditioning/AC) adalah keseluruhan sistem yang mengkondisikan udara di dalam suatu ruangan dengan mengatur besaran

termal seperti temperatur dan kelembaban udara, serta kesegaran dan kebersihan udara sehingga diperoleh kondisi ruangan yang nyaman.

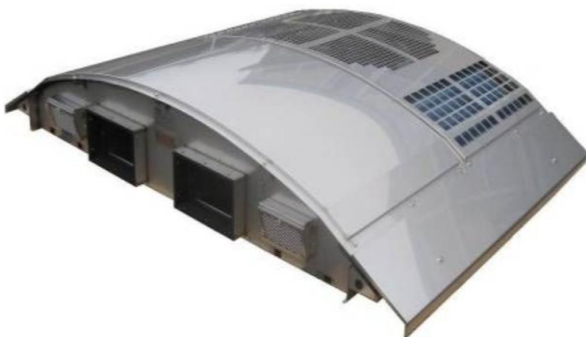
Kemampuan desain dan produksi AC guna memenuhi kebutuhan perkeretaapian di Indonesia bagi industri manufaktur seperti PT. INKA bukanlah persoalan mudah, dibutuhkan proses panjang dan menghadapi berbagai kendala hingga akhirnya mampu merealisasikannya.

Perjalanan perkembangan desain dan produksi AC oleh PT. INKA, diawali saat peringatan HUT RI ke-50 tahun 1995, ketika pertama kali PT. INKA meluncurkan kereta Argo Bromo, PT. INKA menjadi integrator sistem AC menggunakan konsep ducting dari PT. IPTN (saat ini PT. Dirgantara Indonesia) dan AC dari Stone-UK. Oleh karena *carbody* kereta buatan PT. INKA mengacu pada desain dari Nippon Sharyo Jepang, selanjutnya pada tahun 1996 INKA memilih pabrikan AC dari Toshiba yang sesuai untuk aplikasi kereta buatan PT. INKA dan kontrol panel AC oleh PT. Len Industri (Persero).

Tahun 1998 PT INKA bekerja sama dengan Toshiba menghasilkan AC Toshiba RPU-6035V kapasitas 15.000 kCal/jam. Namun terkendala *lead time production* Toshiba yang mencapai satu hingga dua tahun, sedangkan kebutuhan untuk produksi kereta kurang dari satu tahun.

Tahun 2000 PT. INKA bekerja sama dengan LIPI. Secara konsep, AC yang di desain bersama LIPI berhasil dengan baik. Terbukti dengan dihasilkannya AC ACTEL, tipe TL-AC 002-2001, unit AC ACTEL yang dibuat dengan kapasitas pendinginan 15.000 kCal/jam/unit didesain mampu menyejukkan dan membuat nyaman penumpang KA kelas eksekutif dengan kapasitas 60 penumpang. Namun akibat keterbatasan dalam proses manufaktur sehingga keseluruhan produksi unit AC belum dapat tercapai.

Selanjutnya PT. INKA bekerja sama dengan Industri Tata Udara (ITU), produsen AC untuk kebutuhan perumahan, namun terhenti akibat jenis AC statis tidak sesuai untuk kebutuhan dinamis KA.



Sumber: Spesifikasi Teknis AC Toshiba, 2012

Gambar 1.
AC Toshiba.

Pengembangan AC selanjutnya melibatkan pabrikan AC dari Jerman dengan latar belakang industri transportasi darat (bus), KONVEKTA. KA Argo Satwa menjadi pilihan untuk aplikasi AC ini.

Kendala ditemui di lapangan berupa sistem AC yang ada tidak mampu bertahan pada kendaraan rel, banyak terjadi kebocoran dan keretakan pada sistem perpipaan.



Sumber: www.konvekta.de, 2016

Gambar 2.
AC Konvekta 7401.

Pada tahun 2007-2008 PT. INKA bekerja sama dengan AVA, pabrikan AC dari Solo yang berpengalaman dalam pembuatan AC pada kendaraan bus. AC AVA menggunakan teknologi AC dari Australia (Termoair) dikembangkan bersama untuk kebutuhan KA. AC hasil pengembangan tersebut diimplementasikan pada proyek Kereta Rel Diesel Elektrik (KRDE). AC bagian tengah KRDE dipasang AC INKA-AVA, sedangkan sisi lainnya masih menggunakan AC Toshiba. Namun AC INKA-AVA belum dapat diaplikasikan pada kendaraan rel.

Melihat pentingnya AC pada KA dan adanya potensi kebutuhan AC yang besar untuk perkeretaapian Indonesia pada masa mendatang, teknologi manufaktur AC harus segera dikuasai oleh Indonesia (dalam hal ini PT INKA).

Pada tahun 2010 dimulai penjajakan oleh PT. INKA kepada Toshiba dengan membeli lisensi AC kapasitas 15.000 kCal/jam. Sebagai tindak lanjut pembelian lisensi, diberangkatkan lima orang *engineer* ke Jepang untuk mempelajari mengenai *Casing, Assembling, Testing, Set Up Workshop* dan *Tools*. Setelah kepulangan *engineer* dari Jepang, PT INKA mengubah struktur organisasi sehingga unit AC menjadi bagian dari Direktorat Produksi PT. INKA. Dengan kemampuan yang dimiliki, PT INKA siap memenuhi kebutuhan AC, namun terkendala masalah tidak adanya pesanan bagi AC INKA.

Lisensi dari Toshiba yang dimiliki oleh PT. INKA seiring berjalannya waktu dinilai tidak ekonomis, sebab jumlah permintaan AC masih berskala kecil, sedangkan pengadaan komponen AC dari Toshiba memerlukan waktu yang lama. Baik PT. INKA maupun Toshiba merasa kesulitan memenuhi kebutuhan pasar yang kecil namun dengan tenggat

waktu yang terbatas. Pengadaan komponen AC dapat membutuhkan waktu 8-14 bulan, sementara proyek pembuatan kereta secara keseluruhan harus diselesaikan INKA dalam waktu kurang dari satu tahun.

Pada kereta api (KA), AC dipakai untuk mengendalikan temperatur dan kelembaban sehingga udara tetap segar dan bersih. Sumber utama beban pendinginan adalah dari radiasi matahari langsung, konduksi termal kereta, penumpang dan awak kereta.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Beban Pendinginan di Dalam Ruang Penumpang Kereta Api

Pada tahap perencanaan perhitungan beban pendinginan yang tepat perlu diperhatikan, sebab hasil perhitungan tersebut akan menjadi dasar untuk pemilihan jenis dan kapasitas peralatan pendinginan. Beban pendinginan terdiri atas dua jenis, yaitu kalor sensibel dan kalor laten. Selain itu kondisi lapangan juga perlu diperhatikan dalam melakukan perhitungan beban pendinginan, sebab berpengaruh terhadap besarnya beban pendinginan pada kereta. Kondisi lapangan yang dapat berpengaruh pada beban pendinginan antara lain:

1. Posisi geografis operasi lokomotif KA
2. Waktu dan lama KA beroperasi
3. Jumlah penumpang
4. Temperatur di dalam kereta (*dry bulb temperature*) sebesar 77°F dengan 65% RH
5. Temperatur di luar kereta (*outdoor temperature*)
6. sebesar 95°F dengan 90% RH

B. Kalor Sensibel

Kalor sensibel merupakan beban panas yang terjadi ketika energi ditambahkan atau diambil dari suatu materi sehingga menyebabkan perubahan pada *dry bulb temperature*. Kalor sensibel dibedakan menjadi 2 jenis berdasarkan asal beban panasnya, yakni beban panas dari luar dan beban panas dari dalam kereta.

C. Perpindahan Kalor Melalui Kaca

Perpindahan kalor yang dihasilkan oleh kaca disebabkan oleh radiasi matahari yang diserap material kaca karena adanya perbedaan temperatur antara kondisi di dalam kereta dengan kondisi di luar ruangan. Beban panas (*heat gain*) melalui kaca dihitung ketika perpindahan panas terbesar terjadi.

Besarnya beban panas dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{\text{glass}} = \text{SCL} \times \text{SF} \times \text{CF} \times A \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

SCL = *Solar Cooling Load* (Btu/hr ft)

SF = *Shading Coefficient*

F = *Correction Factor*

A = Luas Jendela (ft²)

Beban panas yang dihasilkan oleh kaca kereta api dihitung berdasarkan posisi masing-masing jendela, sehingga untuk memperoleh Beban panas total (*total heating load*) adalah dengan menjumlahkan beban panas yang dihasilkan masing-masing jendela sebagai berikut:

$$Q_{\text{glass tot}} = Q_{\text{north}} + Q_{\text{south}} + Q_{\text{west}} + Q_{\text{east}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

Q_{north} = Posisi jendela yang menghadap utara

Q_{south} = Posisi jendela yang menghadap selatan

Q_{west} = Posisi jendela yang menghadap barat

Q_{east} = Posisi jendela yang menghadap timur

D. Perpindahan Kalor Melalui Dinding dan Atap

Beban panas (*heat gain*) yang dihasilkan oleh dinding juga terjadi ketika beban panas terbesar terjadi selama kereta beroperasi. Perpindahan panas pada dinding juga diakibatkan oleh radiasi matahari yang diserap material dinding.

Besarnya beban panas pada dinding dan atap dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{RSHG} = A \times U \times (\Delta T_{\text{es}} + \Delta T_{\text{em}}) \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

RSHG = *Room Sensible Heat Gain* (Btu/hr)

A = Luas atap atau dinding (ft²)

U = Nilai Konduktansi Bahan (Btu/ft²°F hr)

ΔT_{es} = Beda temperatur pada dinding atau atap yang teduh diambil pada bulan Juli 40° LU dan waktu operasi 24 jam dan dikoreksi (°F)

ΔT_{em} = Beda temperatur pada dinding atau atap yang menghadap datangnya matahari pada hari dan waktu yang direncanakan dan dikoreksi (°F)

Beban panas yang dihasilkan oleh dinding serta atap kereta api dihitung berdasarkan posisi masing-masing dinding, sehingga untuk memperoleh beban panas total (*total heating load*) adalah dengan menjumlahkan beban panas yang dihasilkan masing-masing dinding sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{RSHG}_{\text{total}} = & \text{RSHG}_{\text{wall } 1} + \text{RSHG}_{\text{wall } 2} + \\ & \text{RSHG}_{\text{wall } 3} + \text{RSHG}_{\text{wall } 4} + \\ & \text{RSHG}_{\text{roof}} \dots\dots\dots (4) \end{aligned}$$

E. Beban Panas Internal

Beban panas internal merupakan beban panas yang disebabkan oleh penumpang dan peralatan listrik atau peralatan yang menghasilkan panas. *Sensible heat* yang disebabkan oleh penumpang dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\text{RSHG} = n \times Q_s \times \text{CLF} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

RSHG = *Room Sensible Heat Gain* (Btu/hr)
 n = Jumlah Orang
 Q_s = Beban panas sensibel pada manusia (Btu/hr)
 CLF = *Cooling Load Factor* (dianggap 1)

Besarnya *sensible heat* pada lampu dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\text{RSHG} = 3,412 \times n \times F_s \times F_u \times \text{CLF} \dots\dots (6)$$

Keterangan:

RSHG = *Room Sensible Heat Gain* (Btu/hr)
 n = Jumlah Lampu yang terpasang (Watts)
 F_s = *Special Allowance Factor* = 1,20
 F_u = *Lighting use Factor*
 CLF = *Cooling Load Factor* (dianggap 1)

Besarnya *sensible heat* pada peralatan pada kereta dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\text{RSHG} = n \times Q_s \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

RSHG = *Room Sensible Heat Gain* (Btu/hr)
 N = Jumlah Peralatan
 Q_s = Beban panas *sensibel* pada peralatan (Btu/hr)

$$\begin{aligned} \text{RSHG}_{\text{internal total}} = & \text{RSHG}_{\text{manusia}} + \text{RSHG}_{\text{Lampu}} + \\ & \text{RSHG}_{\text{peralatan total}} \dots\dots (8) \end{aligned}$$

F. Outdoor Air Quantity

Variabel ini mendefinisikan jumlah pergantian udara dari luar kereta atau dapat disebut sebagai kerugian akibat saluran udara seperti ventilasi, pintu yang terbuka, celah-celah dan lain-lain. Pergantian udara yang disebabkan oleh ventilasi terjadi akibat beberapa faktor diantaranya adalah penumpang dan bukaan pada ruangan tersebut, *ventilation air quantity* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = n \times \text{CFM} \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

n = Jumlah Orang
 CFM = Laju Pertukaran Udara pada masing-masing orang

$$Q_{\text{ruang}} = A \times \text{CFM} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

A = Luas Ruangan (ft^2)
 CFM = Laju Pertukaran Udara pada tiap luasan

$$\text{Sehingga: } \text{cfm}_{\text{va}} = Q + Q_{\text{ruang}} \dots\dots\dots (11)$$

Keterangan:

cfm_{va} = *Ventilation Air Quantity* (CFM)

Sedangkan kerugian yang disebabkan oleh celah-celah atau pintu yang terbuka digolongkan kedalam infiltrasi, berikut persamaannya:

$$\begin{aligned} \text{cfm}_{\text{ia}} = & (L + \text{CFM}_{\text{crak}}) + \text{CFM}_{\text{fan air}} + \text{CFM}_{\text{open door}} + \\ & \text{CFM}_{\text{exhaust fan air}} \dots\dots\dots (12) \end{aligned}$$

Keterangan:

Cfm_{ia} = *Infiltration Air Quantity*
 L = Lebar Celah (ft)

Dimana standar nilai CFM untuk penumpang yang menempuh perjalanan jauh adalah 8,8. Sedangkan nilai CFM untuk celah jendela menggunakan nilai CFM celah jendela dengan bingkai kayu dan berada pada daerah yang memiliki kecepatan angin rata-rata sebesar 5 m/jam.

G. Perpindahan Kalor Selain Melalui Dinding dan Atap

Beban panas selain bersal dari atap dan dinding dapat juga berasal dari lantai serta celah-celah yang ada pada kereta api. Besarnya beban panas selain melalui dinding dan atap dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = A \times U \times \text{CLTD} \dots\dots\dots (13)$$

Keterangan:

A = Luas kaca, lantai atau partisi (ft^2)
 U = Koefisien Transmisi (Btu/ hr ft^2 F)
 CLTD = Beda Temperatur di luar kereta dan di dalam kereta ($T_{\text{out}} - T_{\text{in}}$) ($^{\circ}\text{F}$)

Sehingga transmisi beban panas total yang dihasilkan selain melalui dinding dan atap adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_{\text{trans total}} = & Q_{\text{glass}} + Q_{\text{floor}} + Q_{\text{partition}} + \\ & Q_{\text{infiltration}} \dots\dots\dots (14) \end{aligned}$$

Keterangan:

$Q_{\text{infiltration}} = 1,08 \times \text{cfm}_{\text{ia}} \times \text{CLTD}$
 $Q_{\text{infiltration}} = 1,08 \times 0,98 \times 16,2$
 $Q_{\text{infiltration}} = 16,271 \text{ Btu/hr}$

Beban panas sensibel pada kereta adalah sebagai berikut:

$$SH = Q_{\text{glass tot}} + RSH_{\text{floor}} + Q_{\text{glass tot}} + RSH_{\text{internal tot}} \dots\dots\dots (15)$$

Beban panas ruangan atau *Room Sensible Heat* (RSH) total dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$RSH = SH + (10\% \times SH) \dots\dots\dots (16)$$

Nilai *Outdoor Air Sensible Heat* (OASH) yang diperoleh berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$OASH = 1,08 \times \text{cfm}_{\text{oa}} \times \Delta t \dots\dots\dots (17)$$

Keterangan:

Cfm_{oa} = Outdoor air quantity (CFM)

Δt = Beda temperatur di luar kereta dan di dalam kereta ($T_{\text{out}} - T_{\text{in}}$) ($^{\circ}\text{F}$)

Variabel lain yang diperlukan untuk menghitung *total sensible heat* adalah *Effective Room Sensible Heat* (ERSH) dengan persamaan sebagai berikut:

$$ERSH = RSH + (OASH \times \text{bypass factor}) \dots\dots\dots (18)$$

Udara melewati *coil* tidak mengalami perubahan. Besar *Total Sensible Heat* adalah sebagai berikut:

$$TSH = RSH + OASH \dots\dots\dots (19)$$

H. Beban Kalor Laten

Kalor laten merupakan beban panas yang terjadi ketika energi ditambahkan atau diambil dari suatu materi sehingga menyebabkan perubahan

fasa suatu materi tetapi tidak menyebabkan perubahan pada *dry bulb temperature*.

I. Beban Panas Internal

Selain menghasilkan beban kalor sensibel, penumpang dan peralatan listrik juga menghasilkan beban kalor laten. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung beban kalor laten yang dihasilkan oleh manusia maupun peralatan:

$$RLHG = n \times Q_1 \dots\dots\dots (20)$$

Keterangan:

RLHG = *Ratio Latent Heat Gain* (Btu/hr)

Q_1 = Beban panas laten (Btu/hr)

n = Jumlah Orang atau Peralatan

Sistem infiltrasi juga menjadi salah satu faktor yang dapat menghasilkan beban kalor laten, infiltrasi merupakan besarnya udara luar yang masuk ke dalam ruangan dan mempengaruhi temperatur udara dan tingkat kelembaban di ruangan tersebut. Besarnya beban kalor laten dari infiltrasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

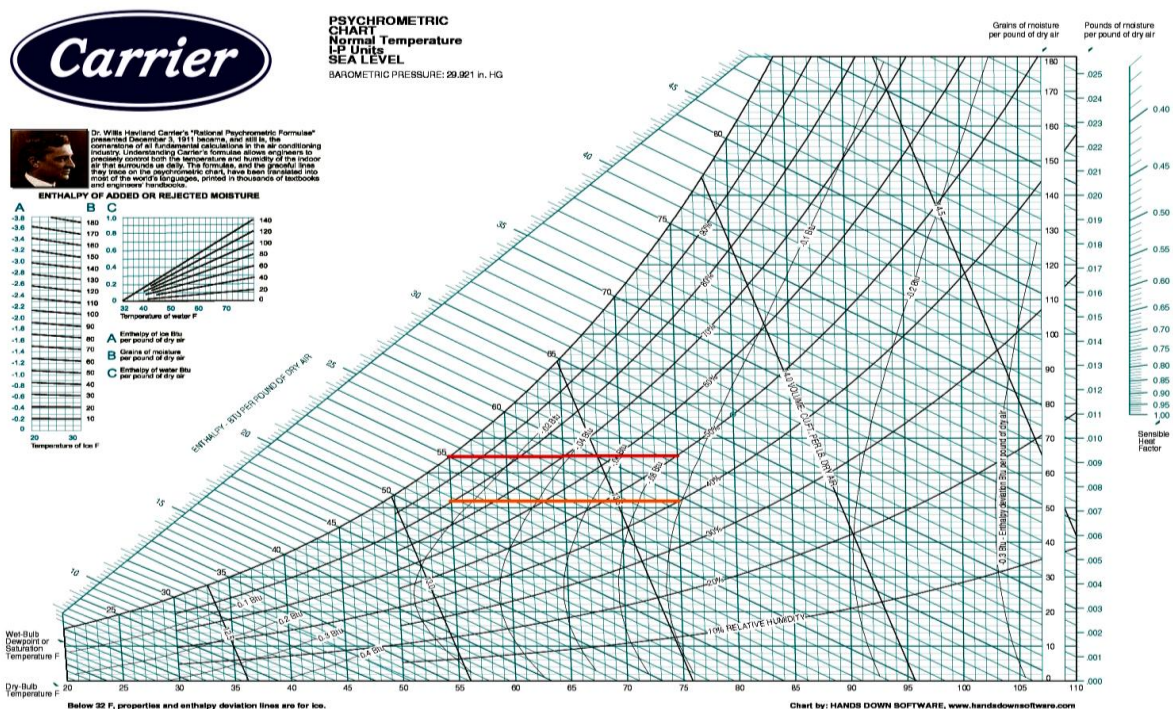
$$Q_1 = 0,68 \times \text{CFM} \times \Delta w \dots\dots\dots (21)$$

Keterangan:

Q_1 = Beban Panas Latent (Btu/hr)

CFM = Laju Pergantian Udara

Δw = Rasio Kelembapan Udara ($w_{\text{out}} - w_{\text{DB}}$) (gr/lb)



Sumber: cart by hands down software, www.handsdownsoftware.com, 2016

Gambar 3.
Grafik Psychrometric.

Sehingga besarnya beban panas atau kalor laten dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$RLHG_{\text{total}} = Q_1 + RLHG_{\text{manusia}} + RLHG_{\text{peralatan}} \dots\dots\dots (22)$$

Beban panas ruangan atau *Room Latent Heat* (RSH) total pada kereta dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$RLH = RLHG_{\text{total}} + (10\% \times RLHG_{\text{total}}) \dots\dots\dots (23)$$

Nilai *Outdoor Air Latent Heat* (OALH) berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$OALH = 0,68 \times cfm_{\text{oa}} \times \Delta w \dots\dots\dots (24)$$

Keterangan:

$Cfmoa$ = *Outdoor air quantity* (CFM)

Δw = Beda kelembaban relative diluar kereta dan di dalam kereta ($w_{\text{out}} - w_{\text{in}}$) (gr/lb)

Sedangkan untuk nilai *Effective Room Latent Heat* (ERLH) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$ERLH = RLH + (OALH \times \text{bypass factor}) \dots\dots\dots (25)$$

Sehingga besar *Total Latent Heat* adalah sebagai berikut:

$$TLH = RLH + OALH \dots\dots\dots (26)$$

Untuk mendapatkan nilai *Effective Room Total Heat* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$ERTH = ERSR + ERLH \dots\dots\dots (27)$$

J. Total Beban Kalor

Total beban kalor merupakan salah satu acuan dalam memilih jenis serta daya pendingin yang tepat. Salah satu variabel yang digunakan untuk menghitung total beban kalor atau *grand total heat* adalah *dehumidified air quantity* yang dapat ditentukan dengan persamaan di bawah:

$$cfm_{\text{da}} = \frac{ERSH}{(1,08 \times (1 - \text{bypass factor}) \times (t_{\text{DB}} - t_{\text{ad}}))} \dots\dots\dots (28)$$

Keterangan:

$ERSH$ = *Effective Room Sensible Heat* (Btu/hr)

= *Dehumidified Air Quantity* (CFM)

t_{DB} = *Dry Bulb Temperature* ($^{\circ}\text{F}$)

T_{ad} = *Apparatus Dewpoint Temperature* ($^{\circ}\text{F}$)

Nilai *Apparatus Dewpoint Temperature* didapatkan dari tabel 65 halaman 145-147 *Carrier handbook* dengan menggunakan *dry bulb temperature* dan *effective sensible heat* (ESHF) sebagai variabel penentu. Besarnya

Effective Sensible Heat Factor (ESHF) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah:

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERSH + ERLH} \dots\dots\dots (29)$$

Dari beberapa persamaan di atas kemudian dapat diperoleh nilai beban kalor total sebagai berikut:

$$GTH = 4,45 \times cfm_{\text{da}} \times (h_{\text{ea}} - h_{\text{la}}) \dots\dots\dots (30)$$

Keterangan:

h_{ea} = *Entering Air Enthalpy* (Btu/lb)

h_{la} = *Leaving Air Enthalpy* (Btu/lb)

Entering Air Enthalpy merupakan besarnya entalpi yang masuk ke dalam kereta, nilainya diperoleh berdasarkan persamaan berikut:

$$h_{\text{ea}} = \frac{(cfm_{\text{oa}} \times h_{\text{oa}}) + (cfm_{\text{ra}} \times h_{\text{ra}})}{cfm_{\text{sa}}} \dots\dots\dots (31)$$

Keterangan:

H_{oa} = *Outdoor Air Enthalpy* (Btu/lb)

H_{ra} = *Room Air Enthalpy* (Btu/lb)

Cfm_{ra} = *Return Air Quantity* (CFM)

Cfm_{sa} = *Supply Air Quantity* (CFM)

Nilai *Supply Air Quantity* diasumsikan sama dengan *Dehumidified Air Quantity* karena pada kondisi *apparatus* dianggap tidak ada aliran udara yang masuk pada ruangan.

Leaving Air Enthalpy merupakan besarnya entalpi yang keluar dari kereta, nilainya dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$H_{\text{la}} = h_{\text{ad}} + \text{bypass factor} (h_{\text{ea}} - h_{\text{ad}}) \dots\dots\dots (32)$$

Keterangan:

h_{ad} = *Apparatus Dewpoint Enthalpy* (Btu/lb)

Dari grafik di atas maka didapatkan nilai *apparatus dewpoint enthalpy* sehingga dapat ditentukan nilai *leaving air enthalpy*. Dengan demikian besarnya *grand total heat* dapat dihitung sebagai berikut:

$$GTH = 4,45 \times cfm_{\text{da}} \times (h_{\text{ea}} - h_{\text{la}}) \dots\dots\dots (33)$$

Sehingga didapatkan besarnya beban pendingin pada kereta. Dari hasil tersebut maka dapat ditentukan jumlah kebutuhan AC.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini didasarkan pada pendekatan evaluasi kebijakan (peraturan perundangan dan dokumen formal). Data yang digunakan adalah data sekunder berupa literatur, buku, laporan dan dokumen terkait, diperoleh dari instansi-instansi terkait sesuai kebutuhan analisis data, khususnya PT. INKA (Persero). Metode analisis yang digunakan adalah metode deskriptif kuantitatif, kualitatif, dan metode kepustakaan.

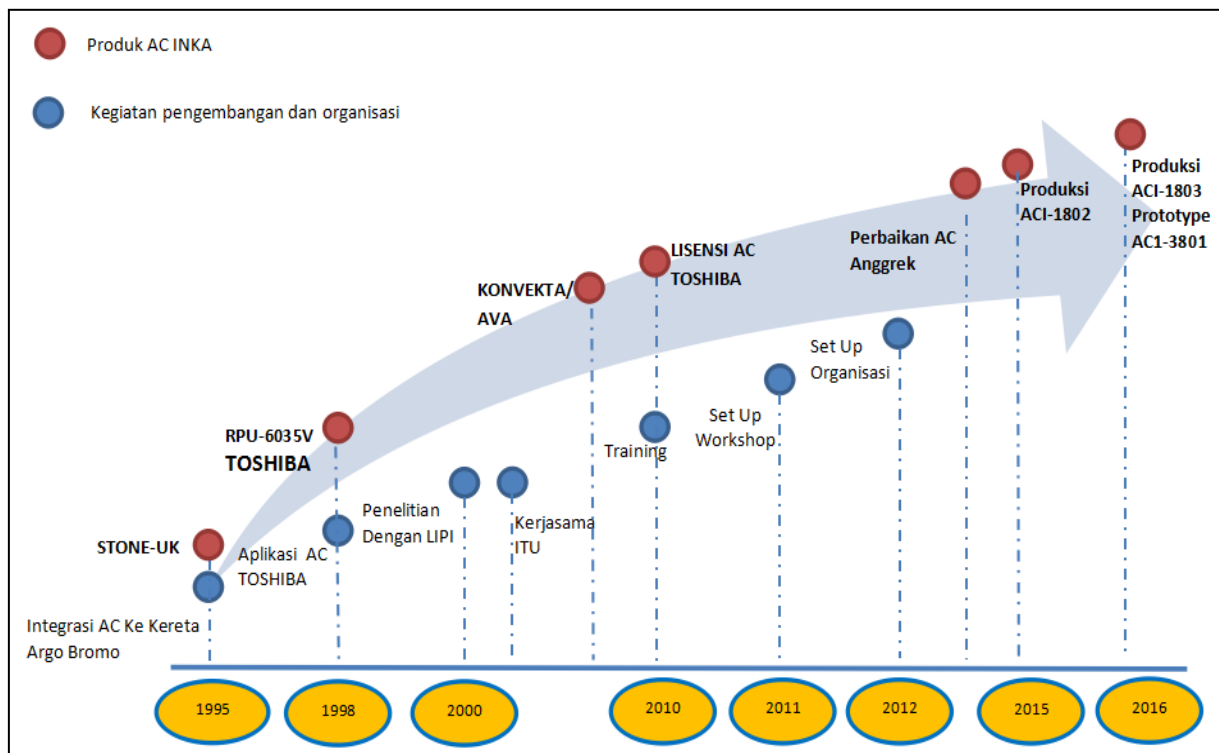
HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengembangan Desain AC Kereta Api oleh PT. INKA

Pada tahun 2012 PT. INKA mendapat pesanan guna mereparasi AC KA dari PT. KAI sebagai peluang bagi PT. INKA guna membuktikan kemampuan dalam reparasi unit AC KA. Dari pembuktian perbaikan itu, PT. INKA menawarkan AC hasil desain PT. INKA sendiri. Melalui proyek pengadaan AC Balai Yasa Gubeng, untuk pertama kalinya produk AC INKA lahir dengan series ACI-1801. Dengan berbagai kekurangan pada seri ACI-1801, melalui beberapa tahapan perekrutasaan, selanjutnya pada proyek empat *trainset* KA kelas eksekutif, diaplikasikan seri kedua dengan tipe ACI-1802. Salah satu perbedaan antara seri ACI-1801 dan ACI-1802 adalah perbedaan pada desain *casing* dan sejumlah komponen. Pada seri ACI-1802, perawatan AC lebih mudah sebab dilengkapi dengan *toggle latch* yang tidak terdapat pada seri ACI-1801. Salah satu komponen utama yang dipilih merupakan komponen standar sesuai kebutuhan perkeretaapian. Salah satu komponen utama tersebut adalah kompresor. Pada seri ACI-1802 kompresor yang digunakan adalah kompresor *Copeland*. Pada tahun 2015, PT. INKA memilih menggunakan kompresor AC Hitachi dengan tipe *horizontal scroll compressor*. Hitachi juga dikenal sebagai salah satu manufaktur AC KA

di dunia. Pemilihan ini didasari pada kebutuhan kompresor yang *compact*. Selain kompresor, komponen yang tidak kalah penting untuk sistem AC adalah *Evaporator Fan* dan *Condensor Fan*. PT. INKA menggunakan *Fan* dari Ziehl Abegg Jerman. Dari kombinasi komponen tersebut dihasilkan seri ACI-1803. Desain kompresor Hitachi jenis horizontal berpengaruh pada ruang penggunaan *casing* lebih sedikit dan lebih optimal. *Horizontal scroll compressor* juga memiliki tingkat kebisingan yang lebih rendah, sehingga desain *casing* AC seri ACI-1803 lebih diminati dan memiliki performansi yang lebih baik daripada seri sebelumnya.

Pada tahun 2016, PT. INKA memproduksi 356 unit AC guna memenuhi kebutuhan dalam negeri. Bila merujuk pada perbandingan harga, AC INKA lebih ekonomis hingga 50% dibandingkan AC buatan Toshiba. Tidak hanya berhenti pada kapasitas 18.000 kCal/jam, PT. INKA juga terus mengembangkan desain AC untuk memenuhi berbagai kebutuhan AC pada KA. Pada tahun yang sama (2015), PT. INKA mampu memproduksi seri terbaru dengan kapasitas 25.000 kCal/jam dan diberi nama ACI-2501. Produk AC seri ACI-2501 digunakan pada KA Inspeksi tahun 2014-2015. Namun pada produk tersebut masih terdapat sejumlah kekurangan sehingga perlu dilakukan penyempurnaan desain.



Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

Gambar 4.
Sejarah Perkembangan AC INKA.

Tidak hanya kebutuhan pasar dalam negeri, kebutuhan AC untuk pasar luar negeri juga semakin berkembang. Produksi AC INKA kembali dituntut untuk dapat memberikan inovasi yang baru guna memenuhi kebutuhan tersebut. Pada tahun 2016 PT. INKA mengeluarkan varian AC terbaru, yaitu ACI-4001 dengan kapasitas pendinginan mencapai 40.000 kCal/jam. Produk AC seri ACI-4001 akan diaplikasikan pada KA Bandara Soekarno Hatta. Produk AC ini juga direncanakan diaplikasikan pada KA berpenggerak dan tidak berpenggerak lainnya. Pada tahun 2017 direncanakan pengembangan AC ini lebih lanjut menjadi HVAC (*Heating Ventilating Air Conditioning System*), sistem yang terintegrasi berfungsi sebagai pemanas, pemutar udara dan sekaligus sebagai pengkondisi udara. Dengan didukung komponen yang handal, PT. INKA berkeyakinan bahwa AC hasil desain dan produksinya layak dinyatakan sebagai *Excellence Solution in Air Conditioning Systems For Indonesia and the Global Rolling Stock Market*.

B. Spesifikasi Teknis dari AC Buatan INKA

Tabel 1.
Spesifikasi Teknis ACI 1803

1. Tipe	<i>Package unit, Roof-mounted</i>
2. Model	ACI1803
3. Kapasitas Pendinginan	20.9 kW/unit (18.000 kcal/hr/unit) Pada kondisi berikut: Udara masuk koil kondenser : 35 °C Udara masuk koil evaporator : 26 °C, RH 65% Utama: 380 - 415V~ 50Hz
4. Catu Daya	Kontrol: 220V 1~ 50Hz
5. Konsumsi daya	10 kW (maks)
6. Aliran Udara	Sirkulasi: 45 m ³ /min Udara Balik: 32 m ³ /min Udara Segar: 13 m ³ /min
7. Komponen Utama	
Kompresor	Tipe <i>Fully Hermetic, Horizontal Scroll</i>
Jumlah	2 unit per Unit AC
Rating	3,3 kW - 3 fase - 380V - 50Hz

Kipas Kondensor	<i>Axial</i>
Jumlah	1 unit per Unit AC
Rating	160 m ³ /min - 100 Pa
Kipas Evaporator	<i>Centrifugal, Dual inlet</i>
Jumlah	2 unit per Unit AC
Rating	22,5 m ³ /min - 294 Pa
Koil Evaporator & Kondensor	<i>Copper Tube with Aluminium Fin</i>
Jumlah	Kondensor 2 unit per Unit AC Evaporator 1 unit per Unit AC
Alat pengaman	<i>High and Low Pressure Switch</i> <i>Relai Phase Counter, LVLF, MCB pada Panel Kontrol</i>
Refrigerant	R407C (Ramah Lingkungan, Ozone Friendly)

8. Kontrol Temperatur	<i>Thermostat</i> dengan 2 tahap pengaturan
9. Rangka Utama dan Cover	<i>Stainless Steel</i>
10. Temperatur Operasional	Maksimal 40°C
11. Dimensi	Panjang : 1750 mm Lebar : 1850 mm Tinggi : 437 mm
12. Berat	370 kg

Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

1. Unit AC

Unit AC tipe *packaged roof mounted*. *packaged* berarti unit *indoor* dan unit *outdoor* menjadi satu unit, sedangkan *roof mounted* yaitu dipasang di atap kereta. Di dalam unit terdiri atas dua unit sistem pendinginan (refrigerasi) dengan komponen sebagai berikut:

- 2 unit kompresor tipe *horizontal scroll*
- 1 unit kipas kondensor
- 2 unit koil kondenser
- 2 unit *Filter Dryer*
- 2 unit *Expansion Valve*

- f. 2 unit kipas evaporator
- g. 1 unit koil evaporator
- h. 2 unit saklar tekanan (HLPS/High Low Pressure Switch)
- i. 4 unit klep servis/pentil
- j. 1 unit rangka utama
- k. 2 unit cover (cover bagian indoor dan outdoor)
- l. 1 set kabel harness listrik
- m. 1 unit konektor listrik
- n. 1 set karet bantalan peredam untuk mounting.

Pada sistem pendinginan tipe kedap udara penuh (*fully hermetic*), masing-masing sistem bekerja secara independen yang dikendalikan melalui kontrol panel yang dipasang di dalam ruangan kereta.

Unit AC ini dioperasikan menggunakan sumber tenaga listrik $380V \pm 10\%$ (3 Fase, $50Hz \pm 5\%$) untuk sirkuit utama (kompresor, kipas kondensor, kipas evaporator), sedangkan untuk sirkuit kontrol menggunakan tegangan sebesar $220V \pm 10\%$ (1 Fase, $50Hz \pm 5\%$).

2. Komponen

a. Rangka dan Cover

Rangka utama dan cover terbuat dari material *stainless steel* SUS304. Dengan pemilihan material tersebut tidak dibutuhkan pengecatan ulang pada saat *overhaul*, sehingga dapat meminimalisir biaya perawatan.

b. Kompresor

Fungsi utama kompresor adalah untuk mengkompresi refrigeran yang awalnya berbentuk gas bertekanan rendah dikompresi menjadi berbentuk gas bertekanan tinggi. Kompresor yang dipakai tipe *scroll horizontal*. Karet peredam dipasang pada setiap kaki kompresor yang berguna sebagai peredam getaran yang terjadi saat kompresor beroperasi. Kompresor 1 dan 2 sama, sehingga dapat saling disubstitusi. Guna menjamin kedap udara dari sistem pendinginan, maka dalam penyambungan antara pipa dan komponen lain dilakukan dengan metode pengelasan/*brazing*.

Spesifikasi detail kompresor adalah sebagai berikut:

- 1) Model : CA64TLA-D1PE1

- 2) Tipe/Bentuk : *Scroll Horizontal, Fully Hermetic*
- 3) Daya Nominal : 4 HP
- 4) Suplai Tegangan : AC, 3 Fase, 380-415V, 50Hz
- 5) Daya Masukan : 4,15 Kw
- 6) Kapasitas Pendinginan : 11,83 kW
- 7) Refrigeran : R407C
- 8) Berat : 35 kg
- 9) Motor :
Tipe : Motor Induksi 3 Fase
Kutub : 2
Hambatan Lilitan : $3,17 \Omega$ (pada $25^\circ C$)

3. Koil Kondenser

Sistem pertukaran panas jenis ventilasi sirip-tabung. Dalam siklus pendinginan, kondensor koil berfungsi membuang panas dari gas *refrigerant* bertemperatur dan bertekanan tinggi, hasil kompresi kompresor untuk mengubahnya berbentuk *refrigerant* cair bertemperatur dan bertekanan tinggi. Berikut detail spesifikasi koil kondensor:

- a. Tipe/Bentuk : Tabung Bersirip/*Finned Tube*
- b. Material : *aluminium finned* dan *copper tube*
- c. Kapasitas : 30 kW
- d. Geometri : 102512_S_S
- e. Panjang Koil : 720 mm
- f. Jumlah tube per row : 36
- g. Jumlah row : 5
- h. Jumlah circuit : 15
- i. Fin pitch : 2.11 mm

4. Kipas Kondensor

Fungsi dari kipas kondensor adalah untuk membantu mekanisme pendinginan *refrigerant* dengan menghilangkan panas melalui perpindahan panas secara konveksi dari koil kondensor pada mode pendinginan. Jenis kipas kondensor yang digunakan adalah kipas tipe *axial* dengan *external rotor*. Berikut adalah detail spesifikasi dari kipas kondensor:

- a. Tipe/bentuk : *axial fan with sickle blades*
- b. Volume udara : 9100 m³/hr
- c. Static pressure : 100 Pa
- d. Input Power : 3 phase 400V 50Hz
- e. Output : 0.65kW
- f. Berat : 23.3kg

5. Filter Dryer

Filter/penyaring berbentuk *spherical* untuk *refrigerant* R407C. Pada *dryer*/pengering digunakan untuk menghilangkan embun/uap air yang terkandung di dalam *refrigerant*. Fungsi dari *dryer* adalah untuk menyerap embun/uap air yang terkandung didalam *refrigerant* circuit.

6. Thermostatic Expansion Valve (TXV)

TXV adalah jenis katub yang banyak digunakan karena efisiensinya tinggi dan mudah diadaptasikan dengan berbagai aplikasi refrigerasi. TXV berbasis pada temperatur gas panas lanjut di bagian keluaran *evaporator* selalu konstan untuk memastikan *refrigerant* yang dihisap kompresor dalam fasa gas. Sehingga sangat cocok digunakan pada sistem refrigerasi yang mempunyai beban bervariasi. Ada 2 tipe katup ekspansi yang sering digunakan yaitu katub ekspansi bentuk siku/kapiler dan katub ekspansi bentuk blok/kotak.



QKFW-320

Sumber: www.transmis.blogspot.co.id, 2016

Gambar 5.

Katub Ekspansi Bentuk Siku/Kapiler.



QKFH-223

Sumber: www.transmis.blogspot.co.id, 2016

Gambar 6.

Katub Ekspansi Bentuk Blok/Kotak.

7. Koil Evaporator

Sistem pertukaran panas berjenis *fin-tube ventilation*. Pada siklus pendinginan, koil evaporator didesain untuk mengambil panas dari campuran udara dari *fresh air* dan *return air*, dan menggunakan panas untuk menaikkan temperatur dari *refrigerant* untuk membantu proses evaporasi. Berikut adalah spesifikasi dari koil evaporator:

- Tipe/Bentuk : Tabung Bersirip/*Finne Tube*
- Material : *aluminium finned* dan *copper tube*
- Kapasitas : 21 kW
- Geometri : 102512_S_S
- Panjang Koil : 980 mm
- Jumlah tube per row : 12
- Jumlah row : 6
- Jumlah circuit : 6
- Fin pitch : 2.00 mm

8. Kipas Evaporator

Fungsi dari kipas evaporator adalah untuk memasukkan udara dari *fresh air* dan udara dari *return air* ke sistem pendinginan. *Refrigerant* pada koil evaporator menyerap panas dari udara campuran *fresh air* dan *return air* melalui mekanisme pergerakan fluida yang ditarik oleh kipas evaporator. Kipas evaporator terdiri atas rangka penutup dan sirip kipas. Jenis kipas yang digunakan adalah kipas sentrifugal *forward curve* dengan dua masukan, sisi kanan dan kiri. Berikut adalah spesifikasi dari kipas evaporator:

- Tipe : sentrifugal *forward curve* dengan *spiral housing*
- Volume udara : 22 m³/min
- Static pressure : 294 Pa
- Output : 1.00kW
- Berat : 20.5kg

9. Strainer

Strainer berfungsi untuk menyaring kotoran yang terbawa oleh *refrigerant* di dalam sistem AC. Jika *strainer* ini mengalami kerusakan, maka kotoran yang lolos dari *strainer* akan menyebabkan penyumbatan pada pipa kapiler sehingga sirkulasi *refrigerant* menjadi terganggu.

10. High and Low Pressure Switch (HLPS)

Switch ini akan menghentikan kerja kompresor jika tekanan internal pada siklus *refrigerant* tidak sesuai dengan ketentuan yang telah diatur.

11. Pipa Kapiler

Pipa kapiler berfungsi untuk menurunkan tekanan *refrigerant* dan mengatur aliran *refrigerant* menuju evaporator. Peran pipa kapiler sangat vital karena menghubungkan tekanan tinggi dan tekanan rendah. *Refrigerant* diturunkan tekanannya sebelum melewati pipa kapiler. Penurunan tekanan *refrigerant* menyebabkan terjadinya penurunan temperatur. Pada bagian ini *refrigerant* mencapai temperatur terendah.

12. Refrigerant

Jenis *refrigerant* yang digunakan adalah *refrigerant* R407C. Dimana *refrigerant* jenis ini adalah *refrigerant non-ozone-depleting* atau *refrigerant* yang ramah lingkungan. Hasil perpaduan antara tiga *hydro fluorocarbon* (HFC) *refrigerants*. Performansi R407C memiliki karakteristik yang sama dengan R22. *The safety group classification of toxicity and flammability*, untuk R407C ditunjukkan pada ANSI/ASHRAE STANDARD 34 "A1 - No Flame Propagation and Low Toxicity". Jumlah *charging refrigerant* adalah 23 kg per *circuit*.

13. Isolasi Panas

Isolasi pipa AC adalah komponen yang digunakan untuk mengisolasi suatu sistem perpipaan yang berguna sebagai lapisan pelindung dan mengisolasi panas/dingin dari sistem perpipaan tersebut. Isolasi pipa ac dapat digunakan sebagai:

a. Pengontrol kondensasi

Ketika sistem perpipaan digunakan pada temperatur rendah dan lembab, air dapat mengembun, maka isolasi AC dapat digunakan untuk mencegah terjadinya proses kondensasi/pengembunan pada sistem pipa. Udara yang lembab juga sering berpotensi menyebabkan korosi pada sistem pipa, oleh karena itu penggunaan isolasi pipa AC sangat dibutuhkan, yakni untuk mencegah kondensasi dan korosi pada sistem pipa. Semakin dingin dan semakin lembab kondisi suatu sistem perpipaan maka dibutuhkan isolasi yang semakin tebal.

b. Sebagai proteksi terhadap temperatur

Isolasi pipa AC akan membantu sistem pipa untuk menjaga

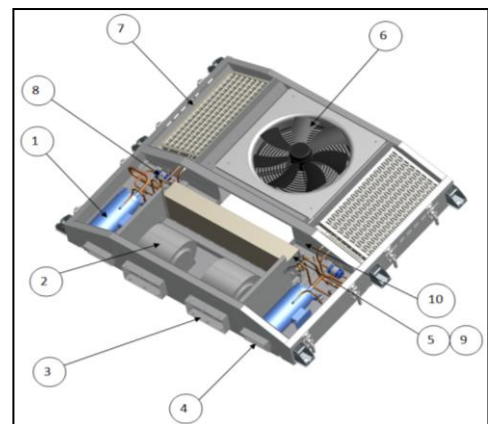
temperatur pipa agar lebih stabil, dengan mencegah proses terjadinya transfer panas dari sistem ke lingkungan, sehingga perpindahan panas dapat diperkecil.

c. Proteksi terhadap kontak fisik

Isolasi pipa AC dapat memberikan proteksi terhadap benturan ringan, sayatan, gesekan ringan, sehingga menjaga pipa agar tetap terlindungi dari kontak fisik, karena bila tidak dilindungi, bila kontak fisik berulang akibat getaran yang dihasilkan sistem pipa dapat mengakibatkan cacat/lecek pada pipa AC.

d. Tape aluminium

Terdiri dari lembaran aluminium yang dilapisi oleh lem, berfungsi sebagai penangkal panas.



Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

Gambar 7.
AC 1803 Produksi INKA.

Tabel 2.
Komponen AC 1803

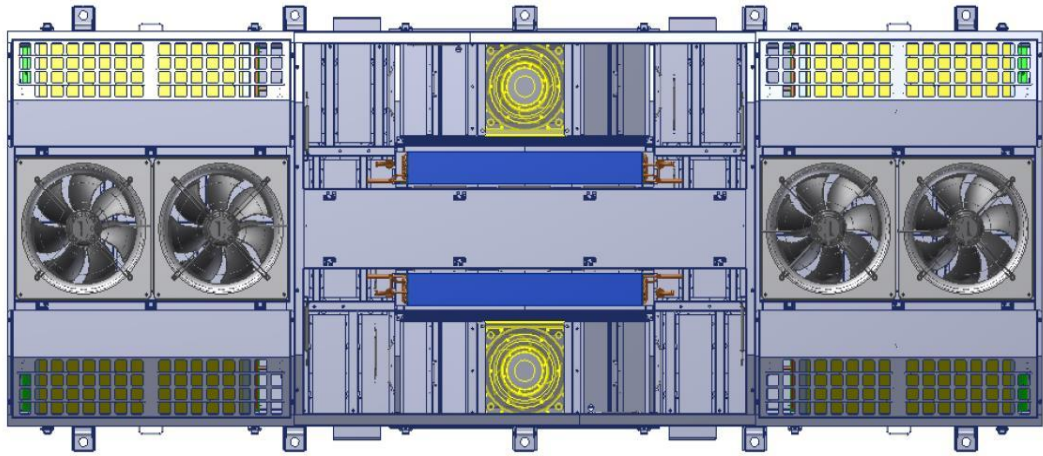
No.	Komponen
1.	Kompresor
2.	Kipas Evaporator
3.	Supply Air Outlet
4.	Fresh Air Inlet
5.	Koil Evaporator
6.	Kipas Kondenser
7.	Koil Kondenser
8.	Filter Drier
9.	Expansion Valve
10.	HLPS (High Low Automatic Reset)
11.	Rubber Pad

Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

Tabel 3.
Spesifikasi ACI 4001

No.	Parameters	AC INKA
1.	Unit Model	ACI – 4001
2.	Unit Mounting	Roof Mounted
3.	Kuantitas <i>Supply Air</i>	Empat (4) Unit/Car
4.	Kuantitas <i>Return Air</i>	Satu (1) Unit/Car
5.	Kuantitas <i>Fresh Air</i>	Empat (4) Unit/Car
6.	Kuantitas <i>Thermostat</i>	Satu (1) Unit/Car dengan dua (2) step pengaturan
7.	Kuantitas <i>Air Filter</i>	Dua (2) Set/Car
8.	Kuantitas <i>Control Panel</i>	Satu (1) Unit/Car
9.	<i>Electrical Component</i>	One (1) Set/Car
No	• Dimensi dan Berat	AC INKA
1.	Panjang (mm)	4405
2.	Lebar (mm)	1806
3.	Tinggi (mm)	544
4.	Berat (kg)	710
No.	• Spesifikasi Unit AC	AC INKA
1.	Kapasitas Pendinginan	40,000 kcal/h Dengan Kondisi: - Temp. <i>Inlet</i> Kondensor Koil : 35°C - Temp. <i>Outlet</i> Evaporator Koil: 27°C - RH: 65%
2.	<i>Power Supply</i>	- <i>Main</i> : 380-415V 3~ 50Hz - <i>Control</i> : 220V 1~ 50Hz
3.	<i>Power Consumption</i>	18.7 kW (max)
4.	<i>Air Flow</i>	- <i>Supply Air</i> : 90 m ³ /min - <i>Return Air</i> : 64 m ³ /min - <i>Fresh Air</i> : 26 m ³ /min
5.	Temp. Operasi Maksimum	40°C
No	• Spesifikasi Komponen	AC INKA
1.	Kompresor	- Tipe <i>Fully Hermetic Scroll</i> - Empat (4) Unit/Car - Rating : 4.1 kW – 3 phase – 380V – 50Hz
2.	Kipas Kondensor	- <i>Axial Fan</i> - Empat (4) Unit/Car - Rating : 83.3 m ³ /min– 120 Pa
3.	Kipas Evaporator	- <i>Centrifugal Fan</i> - Dua (2) Unit/Car - Rating : 45 m ³ /min – 294 Pa
4.	Koil Kondensor and Koil Evaporator	- <i>Copper Tube</i> dengan <i>Aluminium Fins</i> - Kondensor : Empat (4) Unit/Car - Evaporator : Dua (2) Unit/Car
5.	Peralatan Keamanan	- HLPs (<i>High Low Pressure Switch</i>) - <i>Relay Phase Counter</i> , <i>LVLF</i> , <i>MCB</i> , and <i>Control Panel</i>
6.	<i>Refrigerant</i>	R407C (<i>environmentally friendly and ozone friendly</i>)
7.	<i>Main Frame</i> dan <i>Cover</i>	<i>Stainless Steel</i> (mampu menahan beban 90 kg)
8.	Komponen <i>Refrigerant</i> Lain	- <i>Filter drier</i> - <i>TX Valves</i> - <i>Service Access Valve</i> - <i>Refrigeration Piping</i>

Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016



Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

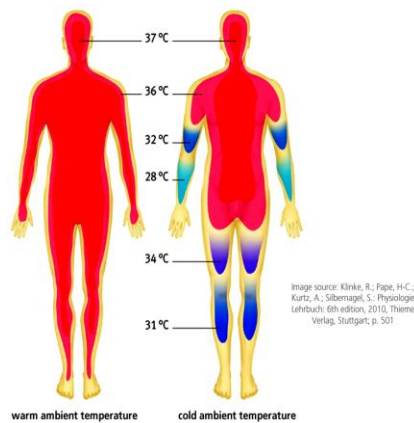
Gambar 8.
AC 4001 produksi INKA.

C. Standar Kenyamanan di Dalam Ruang Penumpang

1. Kenyamanan Termal Manusia

Kondisi kenyamanan termal bagi manusia adalah sebagai berikut:

- Temperatur inti tubuh manusia: konstan 37 °C
- Temperatur pada kulit manusia: bervariasi dari 20° C –
- 40° C
- Temperatur kulit > 45°C atau < 18° C akan menimbulkan efek buruk bagi tubuh.



Sumber: Physiologie Lehrbuch, 6th Edition, 2010

Gambar 9.
Kenyamanan Termal Manusia.

AC memiliki sejumlah manfaat, antara lain:

- Melindungi dari panas dan dehidrasi

Paparan panas yang berlebihan selama perjalanan kereta api dapat menyebabkan keringat berlebih dan berdampak pada dehidrasi. Di dalam kereta, risiko dehidrasi dapat diminimalisir melalui penggunaan AC.

- Meningkatkan produktivitas

Dengan temperatur panas yang terlampau tinggi, AC akan membantu mengurangi kelelahan yang berhubungan dengan panas dan stres. Panas yang ekstrim dapat menimbulkan efek negatif pada aktivitas fisik. Pada saat perjalanan jarak jauh, AC dapat membantu penumpang untuk dapat istirahat dengan nyaman sehingga penumpang dapat terhindar dari kelelahan dan permasalahan lain selama perjalanan.

- Meningkatkan kualitas udara dalam ruangan

AC membantu meningkatkan kualitas udara dalam ruangan secara signifikan. AC pada umumnya dapat menyaring debu, serbuk sari, dan penyebab alergi dari lingkungan lainnya. Selain itu juga akan mengendalikan pertumbuhan jamur dan lumut dengan cara mengurangi tingkat kelembaban.

2. Standar Kenyamanan Termal Sesuai Keputusan Kementerian Perhubungan

Di Indonesia pengoperasian KA pertama dengan sistem AC menggunakan freon dimulai pada tanggal 1 Juni 1967 yaitu KA Eksekutif Bima rute Gambir-Surabaya Gubeng pp. Terdapat tiga kelas KA penumpang yang dioperasikan oleh PT. Kereta Api Indonesia (KAI) yaitu kelas eksekutif, bisnis dan ekonomi. Sesuai Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KM.29 Tahun 2010 tentang Penyelenggaraan Pelayanan Publik Angkutan Orang Dengan Kereta Api Kelas Ekonomi, mewajibkan KA jarak

dekat menggunakan AC. Pada tahun 2015 pemerintah mewajibkan semua KA yang beroperasi di Indonesia menggunakan AC sehingga membuat PT. KAI berinovasi dengan menggunakan AC split sebagai sistem pendingin kereta. Namun penggunaan AC split dianggap kurang sesuai untuk KA, sebab AC split lebih tepat digunakan untuk ruangan statis, bukan dinamis seperti KA. Melalui Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: PM.17 Tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelaikan Gerbong, pada Bagian ke empat dinyatakan bahwa uji dinamis gerbong bertujuan untuk mengetahui kondisi peralatan dan kemampuan kerja gerbong saat kendaraan bergerak. Dengan parameter uji temperatur dan sirkulasi udara, khususnya pada pasal 21 dan 26,

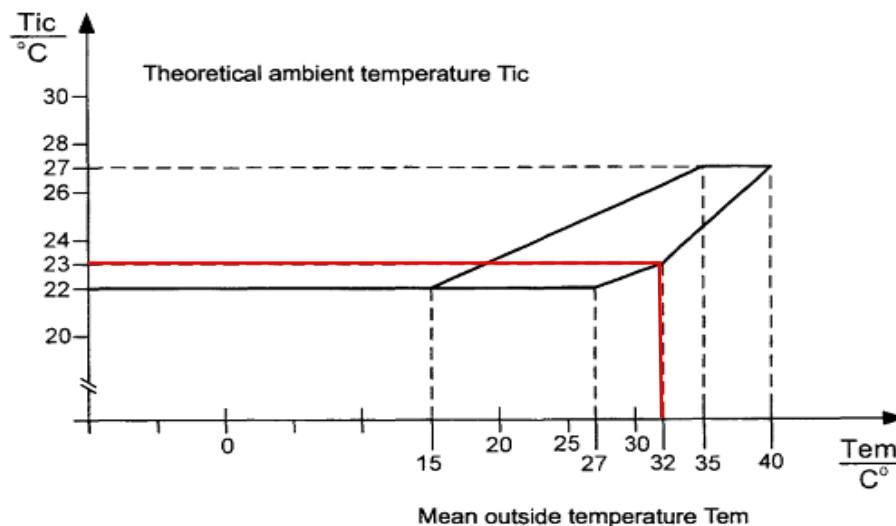
dinyatakan bahwa temperatur pada kereta yang dilengkapi dengan AC adalah 22-26 °C dengan kecepatan udara maksimal 0,5 m/detik.

3. Standar Temperatur Dalam Ruang Penumpang KA Menurut UIC 553

Untuk ruang penumpang, standar temperatur dalam ruangan berdasarkan standar UIC 553 diatur dalam kurva pada **Gambar 10**.

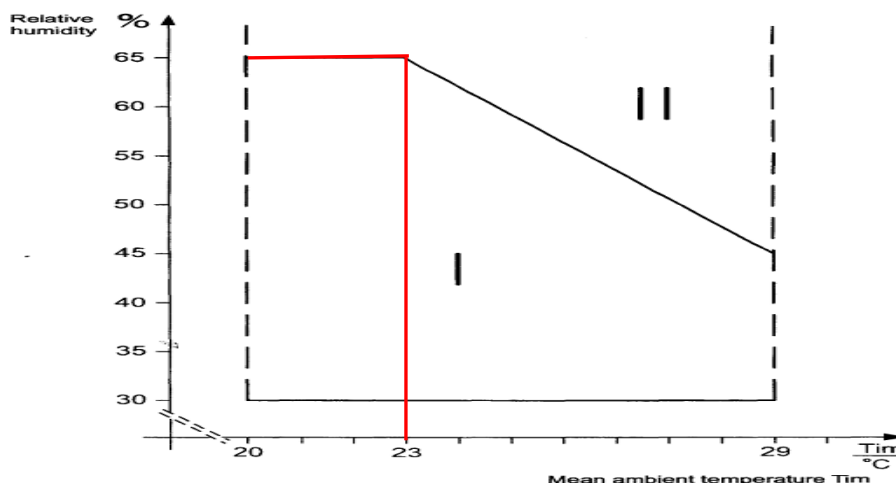
Misal dari $T_{em} = 32^{\circ}\text{C}$ ($89,6^{\circ}\text{F}$) ditarik garis lurus ke atas ketemu garis standar kemudian ditarik garis ke kanan maka akan didapatkan $T_{ic} = 23^{\circ}\text{C}$ ($73,4^{\circ}\text{F}$)

Relative humidity yang diberlakukan pada standar UIC-553 disebutkan pada grafik **Gambar 11**.



Sumber: UIC 553, 6 th Edition February 2004

Gambar 10.
Kurva Untuk Temperatur Ambient.

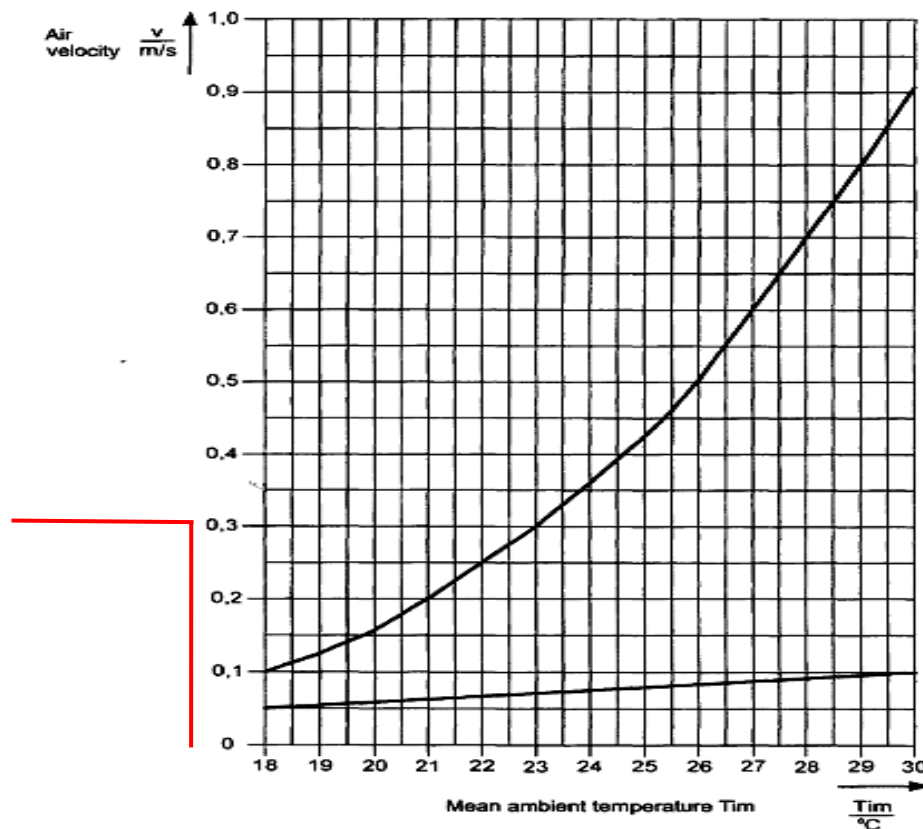


Sumber: UIC 553, 6 th Edition February 2004

Gambar 11.
Air Humidity in The Comfort.

Pada grafik di atas dibagi menjadi 2 zona. Dimana zona yang dianjurkan adalah zona 1 yang sesuai dengan tubuh manusia. Ketika $T_{im} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ditarik garis lurus ke atas ketemu garis standar kemudian ditarik garis ke kanan maka akan didapatkan RH = 65%.

Dengan $T_{im} = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$, kemudian ditarik garis lurus ke atas ketemu garis standar kemudian ditarik garis ke kanan maka akan didapatkan kecepatan udara sebesar 0,3 m/detik. Selain itu kecepatan udara yang jatuh di atas kepala manusia tidak boleh lebih besar dari 0,3 m/detik.



Sumber: UIC 553, 6 th Edition February 2004

Gambar 12.
Kecepatan Udara yang Diperbolehkan.

D. Hasil Perhitungan Beban Pendinginan Udara

1. Perpindahan Kalor Melalui Kaca

Besarnya beban panas dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{glass}} &= \text{SCL} \times \text{SF} \times \text{CF} \times A \\
 &= 339,18 \times 0,9 \times 0,68 \\
 &= 5494,716 \text{ Btu/hr} \\
 &= 1610,342 \text{ W}
 \end{aligned}$$

Beban panas yang dihasilkan oleh kaca K3 *New Image* dihitung berdasarkan posisi masing-masing jendela, sehingga untuk memperoleh beban panas total (*total heating load*) yaitu dengan menjumlahkan beban panas yang dihasilkan masing-masing jendela sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{glass tot}} &= Q_{\text{north}} + Q_{\text{south}} + Q_{\text{west}} + Q_{\text{east}} \\
 &= 5494,716 + 0 + 761,267 + 790,172 \\
 &= 7046,155 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.
Beban Panas yang Dihasilkan oleh Kaca Pada K3 *New Image*

Posisi	Luas (ft ²)	Peak Load (Btu/hr ft ²)	Factor		Beban Panas (Btu/hr)
			Shade	Storage	
Utara		339,18	0,9	0,68	5494,716
Selatan					
Barat		1291,13	0,9	0,68	790,17156
Timur		1243,9	0,9	0,68	761,2668
Total					7046,15436

Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

2. Perpindahan Kalor Melalui Dinding dan Atap

Besarnya beban panas pada dinding dan atap dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{RSHG} &= A \times U \times (\Delta T_{\text{es}} + \Delta T_{\text{em}}) \\ &= 217,72 \times 0,6 \times (34 + 8) \\ &= 5486,544 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Beban panas yang dihasilkan oleh dinding serta atap kereta api dihitung berdasarkan posisi masing-masing dinding, sehingga

untuk memperoleh beban panas total (*total heating load*) yaitu dengan menjumlahkan beban panas yang dihasilkan masing-masing dinding sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{RSHG}_{\text{total}} &= \text{RSHG}_{\text{wall 1}} + \text{RSHG}_{\text{wall 2}} + \\ &\quad \text{RSHG}_{\text{wall 3}} + \text{RSHG}_{\text{wall 4}} + \\ &\quad \text{RSHG}_{\text{roof}} \\ &= 5486,544 + 3788,328 + \\ &\quad 296,208 + 753,984 + \\ &\quad 7899,7623 \\ &= 18224,8263 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Tabel 5.
Beban Panas yang Dihasilkan oleh Dinding dan Atap Pada K3 New Image

Posisi	Luas (ft ²)	Konduktivitas (Btu/ft ² °F hr)	ΔT _{es} (°F)	ΔT _{em} (°F)	Beban Panas (Btu/hr)
Wall 1	217,72	0,6	34	8	5486,544
Wall 2	217,72	0,6	21	8	3788,328
Wall 3	44,88	0,6	3	8	296,208
Wall 4	44,88	0,6	20	8	753,984
Roof	231,19	0,67	43	8	7899,7623
Total					18224,8263

Sumber: Direktorat Teknologi, PT INKA, 2016

3. Beban Panas Internal

Sensible heat yang disebabkan oleh penumpang dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{RSHG} &= n \times Q_s \times \text{CLF} \\ &= 64 \times 240 \times 1 \\ &= 15360 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Besarnya *sensible heat* pada lampu dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{RSHG} &= 3,412 \times n \times F_s \times F_u \times \text{CLF} \\ &= 3503,2 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Besarnya *sensible heat* pada peralatan pada kereta dapat diperoleh melalui persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{RSHG} &= n \times Q_s \\ &= 1 \times 9451,63 \\ &= 9451,63 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{RSHG}_{\text{internal total}} &= \text{RSHG}_{\text{manusia}} + \\ &\quad \text{RSHG}_{\text{Lampu}} + \\ &\quad \text{RSHG}_{\text{peralatan total}} \\ &= 15360 + 3503,2 + \\ &\quad 9451,63 \\ &= 28314,83 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

4. Outdoor Air Quantity

Pergantian udara yang disebabkan oleh ventilasi terjadi akibat beberapa faktor diantaranya adalah penumpang dan bukaan pada ruangan tersebut, *ventilation air*

quantity dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q &= n \times \text{CFM} \\ &= 64 \times 8,8 \\ &= 563,2 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

$$Q_{\text{ruang}} = A \times \text{CFM}$$

Dimana:

$$A = \text{Luas Ruangan (ft}^2\text{)}$$

$$\text{CFM} = \text{Laju Pertukaran Udara pada tiap luasan}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga: cfm}_{\text{va}} &= Q + Q_{\text{ruang}} \\ &= 563,2 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Dimana:

$$\text{cfm}_{\text{va}} : \text{Ventilation Air Quantity (CFM)}$$

Sedangkan kerugian yang disebabkan oleh celah-celah atau pintu yang terbuka digolongkan ke dalam infiltrasi, berikut persamaannya:

$$\begin{aligned} \text{cfm}_{\text{ia}} &= (L \times \text{CFM}_{\text{crak}}) + \text{CFM}_{\text{fan air}} + \\ &\quad \text{CFM}_{\text{open door}} + \text{CFM}_{\text{exhaust fan air}} \\ &= (7,750 \times 0,12) + 0 + 563,2 + 0 \\ &= 564,13 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Dimana standar nilai CFM untuk penumpang yang menempuh perjalanan jauh adalah 8,8. Sedangkan nilai CFM untuk celah jendela menggunakan nilai CFM celah jendela dengan bingkai kayu dan berada pada daerah yang memiliki kecepatan angin rata-rata sebesar 5 m/jam.

Tabel 6.
Outdoor Air Quantity Pada K3 New Image

	Ventilation			Infiltration		Total (CFM)
	Jumlah/Luas (ft ²)	CFM		Jumlah/Luas (ft ²)	CFM	
Orang	128	8,8	Crack	7,75	0,12	564,13
Ruangan	-	-	Pintu	-	-	

Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

Dimana standar nilai CFM untuk penumpang yang menempuh perjalanan jauh adalah 8,8. Sedangkan nilai CFM untuk celah jendela menggunakan nilai CFM celah jendela dengan bingkai kayu dan berada pada daerah yang memiliki kecepatan angin rata-rata sebesar 5 m/jam.

5. Perpindahan Kalor Selain Melalui Dinding dan Atap

Beban panas selain berasal dari atap dan dinding dapat juga berasal dari lantai serta celah-celah yang ada pada kereta api. Besarnya beban panas selain melalui dinding dan atap dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q &= A \times U \times CLTD \\
 &= 104,46 \times 0,86 \times (96-77) \\
 &= 1617,0408 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Sehingga transmisi beban panas total yang dihasilkan selain melalui dinding dan atap adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{trans total}} &= Q_{\text{glass}} + Q_{\text{floor}} + Q_{\text{partition}} + Q_{\text{infiltration}} \\
 &= 1617,0408 + 1123,146 + 0 + 18,0792 \\
 &= 2758,266 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Dimana:

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{infiltration}} &= 1,08 \times \text{cfm}_{\text{ia}} \times CLTD \\
 Q_{\text{infiltration}} &= 1,08 \times 0,93 \times (95-77) \\
 Q_{\text{infiltration}} &= 18,0792 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Kaca yang digunakan pada K3 New Image adalah *double tempered glass* yang dilaminasi dengan anti UV 60%, sedangkan material penyusun lantai adalah *unitex* yang terdiri dari baja bergelombang pada bagian bawah dan *vinyl* pada permukaan. Temperatur di luar kereta dianggap konstan sebesar 95 °F dan temperatur di dalam kereta diatur pada temperatur 77°F.

Tabel 7.
Beban Panas yang Dihasilkan Selain Pada Dinding dan Atap Pada K3 New Image

	Luas (ft ²)	Peak Load (Btu/hr ft ²)	CLTD (F)	Beban Panas (Btu/hr)
Kaca	104,46	0,86	18	1617,0408
Lantai	231,1	0,27	18	1123,146
Total				2740,1868

Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

Beban panas sensibel pada kereta adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 SH &= Q_{\text{glass tot}} + RSHG_{\text{floor}} + Q_{\text{trans tot}} + RSHG_{\text{internal tot}} \\
 &= 7046,154 + 18224,8263 + 2758,266 + 28314,33 \\
 &= 56344,0767 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Beban panas ruangan atau *Room Sensible Heat* (RSH) total dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$RSH = SH + (10\% \times SH)$$

$$\begin{aligned}
 RSH &= 56344,0767 + (10\% + 56344,0767) \\
 &= 61978,4843 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Nilai *Outdoor Air Sensible Heat* (OASH) yang diperoleh berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 OASH &= 1,08 \times \text{cfm}_{\text{oa}} \times \Delta t \\
 &= 0,1 \times 564,13 \times (95 - 77) \\
 &= 1015,434 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

Variabel lain yang diperlukan untuk menghitung *total sensible heat* adalah

Effective Room Sensible Heat (ERSH) dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{ERSH} &= \text{RSH} + (\text{OASH} \times \text{bypass factor}) \\ &= 61978,4843 + (1015,434 \times 0,1) \\ &= 62080,0277 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Bypass factor merupakan presentase dimana ketika udara melewati *coil* tidak mengalami perubahan. Pada K3 *New Image* *bypass factor* bernilai 0,1. Besar *Total Sensible Heat* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{TSH} &= \text{RSH} + \text{OASH} \\ &= 61978,4843 + 1015,434 \\ &= 62993,9183 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

6. Beban Kalor Laten

Kalor laten merupakan beban panas yang terjadi ketika energi ditambahkan atau diambil dari suatu materi sehingga menyebabkan perubahan fasa suatu materi tetapi tidak menyebabkan perubahan pada *dry bulb temperature*.

7. Beban Panas Internal

Selain menghasilkan beban kalor sensibel, penumpang dan peralatan listrik juga menghasilkan beban kalor laten. Berikut merupakan persamaan untuk menghitung beban kalor laten yang dihasilkan oleh manusia maupun peralatan:

$$\begin{aligned} \text{RLHG} &= n \times Q_1 \\ &= 64 \times 160 \\ &= 10240 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Sistem infiltrasi juga menjadi salah satu faktor yang dapat menghasilkan beban kalor laten infiltrasi merupakan besarnya udara luar yang masuk ke dalam ruangan dan mempengaruhi temperatur udara dan tingkat kelembaban di ruangan tersebut. Besarnya beban kalor laten dari infiltrasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} Q_1 &= 0,68 \times \text{CFM} \times \Delta w \\ &= 0,68 \times 0,93 \times (16,4 - 4,95) \\ &= 7,24098 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Sehingga besarnya beban panas atau kalor laten dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{RLHG}_{\text{total}} &= Q_1 + \text{RLHG}_{\text{manusia}} + \text{RLHG}_{\text{peralatan}} \\ &= 7,24098 + 10240 + 0 \\ &= 10247,24098 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Beban panas ruangan atau *Room Latent Heat* (RSH) total pada kereta dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{RLH} &= \text{RLHG}_{\text{total}} + (10\% \times \text{RLHG}_{\text{total}}) \\ &= 10247,24098 + (10\% \times 10247,24098) \\ &= 11271,24098 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Nilai *Outdoor Air Latent Heat* (OALH) pada K3 *New Image* yakni sebesar 27414,3648 Btu/hr berdasarkan persamaan berikut :

$$\begin{aligned} \text{OALH} &= 0,68 \times \text{cfm}_{\text{oa}} \times \Delta w \\ &= 0,68 \times 7,24098 \times 5567,65 \\ &= 27414,3648 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk nilai *Effective Room Latent Heat* (ERLH) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{ERLH} &= \text{RLH} + (\text{OALH} \times \text{bypass factor}) \\ &= 11271,9651 + (27414,3648 \times 0,1) \\ &= 14013,4016 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Sehingga besar *Total Latent Heat* adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{TLH} &= \text{RLH} + \text{OALH} \\ &= 11271,9651 + 27414,3648 \\ &= 38686,3298 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

Untuk mendapatkan nilai *Effective Room Total Heat* dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \text{ERTH} &= \text{ERSH} + \text{ERLH} \\ &= 62080,0277 + 14013,4016 \\ &= 76093,4293 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

8. Total Beban Kalor

Total beban kalor merupakan salah satu acuan dalam memilih jenis serta daya pendingin yang tepat. Salah satu variabel yang digunakan untuk menghitung Total beban kalor atau *grand total heat* adalah *dehumidified air quantity* yang dapat ditentukan dengan persamaan di bawah:

$$\begin{aligned} \text{cfm}_{\text{da}} &= \frac{\text{ERSH}}{(1,08 \times (1 - \text{bypass factor}) \times (t_{\text{DB}} - t_{\text{ad}}))} \\ \text{cfm}_{\text{da}} &= \frac{62080,0277}{(1,08 \times (1 - 0,1) \times (77 - 52))} \\ \text{cfm}_{\text{da}} &= 2554,734 \text{ CFM} \end{aligned}$$

Nilai *Apparatus Dewpoint Temperature* dari tabel 65 halaman 145-147 *Carrier handbook* dengan menggunakan *dry bulb temperature* dan *effective sensible heat* (ESHF) sebagai variabel penentu. Besarnya *Effective Sensible Heat Factor* (ESHF) dapat dihitung dengan persamaan di bawah:

$$ESHF = \frac{ERSH}{ERSH + ERLH}$$

$$ESHF = \frac{62080,0277}{62080,0277 + 14013,4016}$$

$$ESHF = 0,8158$$

Entering Air Enthalpy merupakan besarnya entalpi yang masuk ke dalam kereta, nilainya diperoleh berdasarkan persamaan berikut:

$$h_{ea} = \frac{(cfm_{oa} \times h_{oa}) + (cfm_{ra} \times h_{ra})}{cfm_{sa}}$$

$$h_{ea} = \frac{(564,13 \times 59,2) + (1990,60365 \times 29,38)}{2554,73365}$$

$$h_{ea} = 35,964779 \text{ Btu / lb}$$

Nilai *Supply Air Quantity* diasumsikan sama dengan *Dehumidified Air Quantity* karena pada kondisi *apparatus* dianggap tidak ada aliran udara yang masuk pada ruangan.

Leaving Air Enthalpy merupakan besarnya entalpi yang keluar dari kereta, nilainya dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$H_{la} = h_{ad} + \text{bypass factor} (h_{ea} - h_{ad})$$

$$H_{la} = h_{ad} + \text{bypass factor} (h_{ea} - h_{ad})$$

$$= 21,5 + 0,1(35,9645 - 21,5)$$

$$= 25,097 \text{ Btu/lb}$$

Dimana:

$$h_{ad} = \text{Apparatus Dewpoint Enthalpy (Btu/lb)}$$

Dari grafik *psychometric* di atas maka didapatkan nilai *apparatus dewpoint enthalpy* sehingga dapat ditentukan nilai *leaving air enthalpy*. Dengan demikian besarnya *grand total heat* dapat dihitung sebagai berikut:

$$GTH = 4,45 \times cfm_{da} \times (h_{ea} - h_{la})$$

$$= 4,45 \times 2554,734 \times (35,965 - 25,096)$$

$$= 123556,985 \text{ Btu/lb}$$

$$= 31136,3603 \text{ Kcal/hr}$$

Kereta K3 *New Image* merupakan kereta produksi PT. INKA (Persero) tahun 2016 sebanyak 2 *trainset* masing-masing terdiri 22 kereta dan 3 *trainset* masing-masing terdiri 11 kereta. Setiap kereta dipasang AC 18003 sebanyak 2 unit, sehingga sudah sesuai dengan perhitungan beban pendinginan setiap kereta sebesar 123556,985 Btu/hr atau 31136,3603 Kcal/hr. Dari hasil tersebut maka K3 *New Image* sebaiknya menggunakan sebuah

pendingin ruangan dengan kapasitas beban pendinginan sebesar 18 Kcal/hr sebanyak 2 unit.

E. Hasil Pengujian AC 4001 oleh Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS)

Pengujian kapasitas pendinginan dalam proyek ini menggunakan dua metode, yaitu:

- Metode *Enthalpy* Udara

Metode ini digunakan untuk memperoleh kapasitas pendinginan dengan cara mengukur temperatur udara (*dry-bulb*) dan kelembaban udara (*relative humidity*/RH) dari *suction* dan *blow out* mesin AC yang diuji.

- Metode Pengukuran Aliran *Refrigerant*

Metode ini digunakan untuk memperoleh kapasitas pendinginan dengan mengukur nilai karakteristik dari *refrigerant* mesin AC yang diuji, yaitu berupa temperatur *superheat* dan *subcooling* dari aliran *refrigerant*.

1. Kondisi Pengujian

Pengukuran telah dilakukan pada kondisi operasi yang sudah mantap, karena AC telah beroperasi sekitar satu jam. Kondisi lingkungan memenuhi untuk pengujian kapasitas pendinginan beban maksimum dimana temperatur lingkungan adalah 38 °C dan kelembaban udara sekitar 35%.

2. Hasil Pengujian Kapasitas Pendingin Dengan Metode *Enthalpy* Udara

Prosedur pengujian pada bagian ini mengacu pada standar AHSRAE yang digunakan oleh PT. INKA. Perhitungan kapasitas pendinginan dilakukan menggunakan nilai *enthalpy*. Untuk tujuan ini maka diperlukan perhitungan terlebih dahulu terhadap nilai *enthalpy* dan densitas udara. *Enthalpy* dihitung berdasarkan persamaan:

$$h = 1,006T + W(2501 + 1,86T)$$

Keterangan:

h : *enthalpy* (kJ/kg)

T : *drybulb* temperature (°C)

W : rasio kelembaban (kg w/kg.da) = $\mu \times W_s$

μ : kelembaban relative

W_s : kelembaban pada tekanan saturasi

Densitas udara dihitung dengan persamaan:

$$\rho = \frac{351,99}{T} + \frac{351,99}{T^2} \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

dengan T adalah temperatur *drybulb* dalam Kelvin. Perhitungan kapasitas pendinginan menggunakan rumusan sebagai berikut:

Laju volume aliran udara (m³/h) = rata-rata kecepatan udara (m/s) x luasan area outlet (m²) x 3600

Kapasitas pendinginan = ($h_{\text{intake indoor}} - h_{\text{outflow indoor}}$) (kcal/kg) x ρ x Volume outflow udara indoor (m³/h)

Hasil perhitungan adalah sebagai berikut:

Kapasitan pendingin no.1 = 21527 kcal/hr

Kapasitan pendingin no.2 = 22782 kcal/hr

Total kapasitas pendingin (QL) = 44309 kcal/hr

Dari segi daya listrik yang dikonsumsi, diperoleh:

Konsumsi daya listrik no 1 = 10.9 kVA

Konsumsi daya listrik no.2 = 10.94

Total konsumsi daya listrik (Wc) = 21.9 kVA

= 17,52 kW (cosphi : 0'8)

= 15074,57 kcal/hr

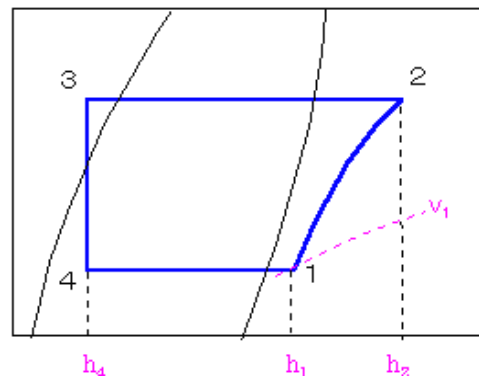
Dengan demikian koefisien performansi (*coefficient of performance*) diperoleh:

$$COP = \frac{\dot{Q}_L}{W_c} = \frac{44309 \text{ kcal/hr}}{15074,57 \text{ kcal/hr}} = 2,94$$

Dari hasil perhitungan di atas dapat dilihat bahwa kapasitas pendingin mesin ACI-4001 telah melebihi kapasitas desain. Sedangkan dari nilai COP dapat dilihat bahwa mesin ACI-4001 berada pada kategori bagus karena masih dalam range nilai COP tipikal dari satu unit AC yaitu 2 hingga 4.

3. Hasil Pengujian Kapasitas Pendinginan Dengan Metode Aliran Refrigerant

Teknik pengambilan data karakteristik aliran *refrigerant* yang digunakan ACI-4001 mengacu pada teknik yang digunakan oleh PT. INKA. Perhitungan kapasitas pendinginan dilakukan dengan mencari data *enthalpy refrigerant* dari hasil pengukuran tekanan dan temperatur. Nilai *enthalpy* diperoleh dari diagram P-h *refrigerant* DuPont Suva R-407C. Ilustrasi siklus pendinginan yang terjadi seperti ditunjukkan pada **Gambar 13**.



Sumber: Laporan hasil Pengujian Kapasitas AC PT INKA oleh ITS, 2016

Gambar 13.
Diagram p-h

Dari hasil pengukuran diperoleh nilai temperatur *superheat* minimum adalah 8,5 °C dan nilai temperatur *superheat* maksimum adalah 14 °C. Sedangkan nilai temperatur *subcooling* minimum adalah 4,5 °C dan nilai temperatur *subcooling* maksimum adalah 10,5 °C

Nilai h_1 , h_2 , h_3 , dan h_4 diperoleh dengan mengplot kondisi 1-4 (**Gambar 13**), pada diagram P-h dari R407C. Kapasitas pendinginan dinyatakan sebagai laju kalor yang diserap dari media yang didinginkan, yaitu:

$$\dot{Q}_L = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

$$\frac{\dot{Q}_L}{\dot{m}} = (h_1 - h_4)$$

Dengan menggunakan asumsi bahwa banyaknya aliran *refrigerant* per 30 detik pada setiap siklus adalah sekitar 80% dari massa total *refrigerant*, diperoleh laju aliran massa *refrigerant* adalah 0,085 kg/s. Selanjutnya kapasitas pendinginan total merupakan penjumlahan dari empat siklus pendinginan yang terjadi, sehingga diperoleh:

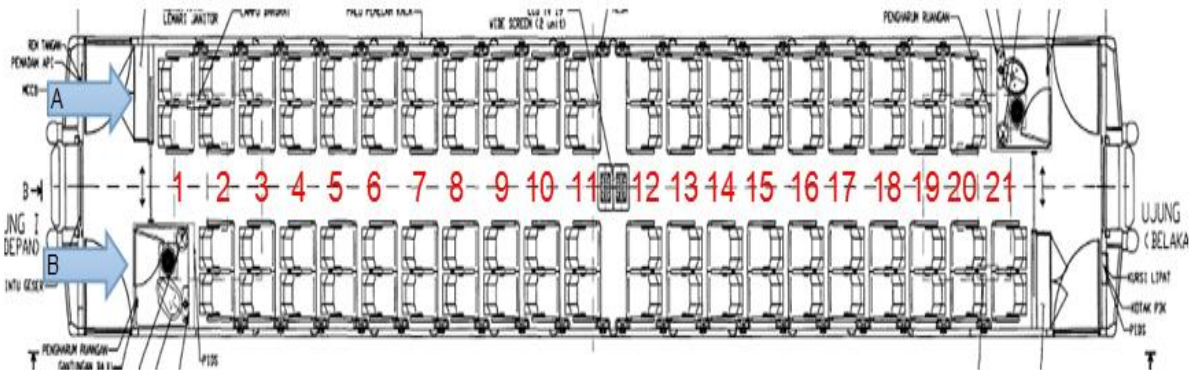
$$\begin{aligned} \dot{Q}_L \text{ total} &= \dot{m} \left(\frac{\dot{Q}_{L1}}{\dot{m}} + \frac{\dot{Q}_{L2}}{\dot{m}} + \frac{\dot{Q}_{L3}}{\dot{m}} + \frac{\dot{Q}_{L4}}{\dot{m}} \right) \\ &= 0.085 \text{ kg/s} (145.84 + 168 \\ &\quad + 167.1 + 160.006) \text{ kJ/kg} \\ &= 54.48 \text{ kJ/s} \\ &= 196129.4 \text{ kJ/hr} \\ \mathbf{Q_L \text{ total} = 46876.05 \text{ kcal/h}} \end{aligned}$$

F. Hasil Pengujian Distribusi Udara di Dalam Ruang Penumpang di Lintas Operasional PT. KAI

Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas pendinginan mesin ACI-4001 lebih besar dari nilai kapasitas desainnya. Berikut ini diberikan

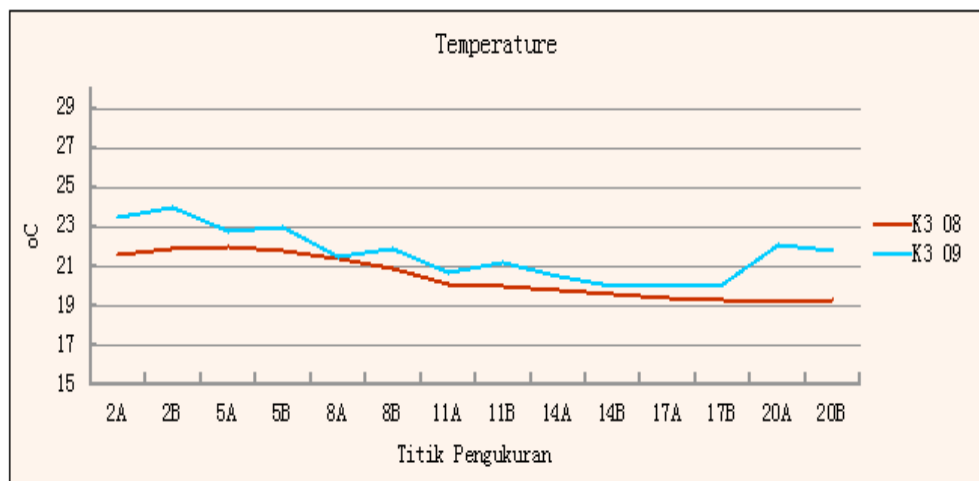
contoh hasil pengujian di lintas operasi PT. KAI pada kereta K3 New Image yang menggunakan ACI-1803. Pengambilan data dilakukan sebanyak satu kali karena kondisi kereta yang kurang memungkinkan untuk melakukan pengambilan data sebanyak tiga kali. Data diambil pada saat kereta berjalan dengan kecepatan rata-rata 60 km/jam. Pengambilan

data dilakukan mulai pukul 16.30 WIB, ± 10 menit setelah kereta berjalan. Sebelum berjalan kereta dalam kondisi berhenti di stasiun, namun sebelumnya telah berjalan dengan AC menyala dan pintu tertutup. Pengambilan data dilakukan dengan mengambil sampel dua kereta penumpang.



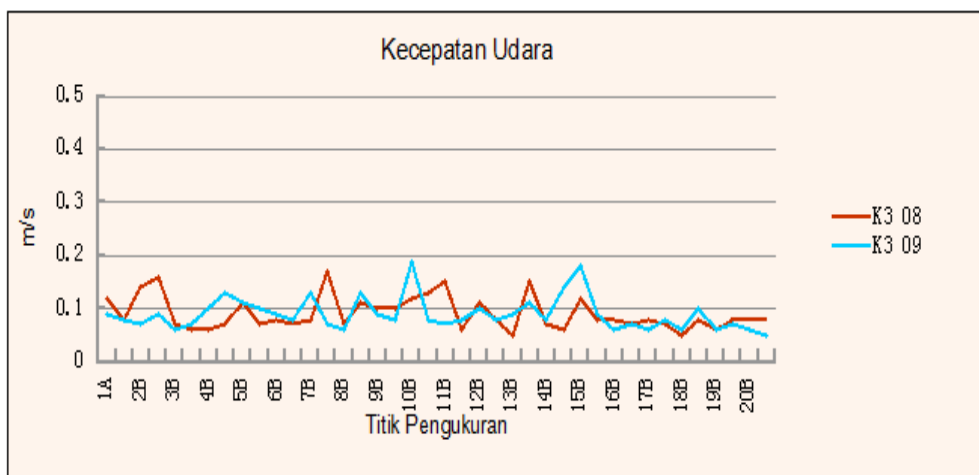
Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

Gambar 14.
Denah Pembagian Titik Pengukuran Kereta Penumpang.



Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

Gambar 15.
Grafik Nilai Temperature Kereta Penumpang K3AC New Image.



Sumber: Direktorat Teknologi, PT. INKA, 2016

Gambar 16.
Grafik Nilai Kecepatan Udara Kereta Penumpang K3AC New Image.

Pada kereta penumpang distribusi udara telah merata. Hal ini ditunjukkan dengan selisih antar titik dari hasil pengukuran tidak lebih dari 1°C. Selain itu hasil pengukuran yang diperoleh, jika dibandingkan dengan standar keberterimaan yang ada, semua parameter telah sesuai dengan rata-rata temperatur ruang adalah 20.45°C untuk K308 dan 21.65°C untuk K309. Dan rata-rata

kecepatan udara pada kereta penumpang yang terukur adalah 0.09 pada kereta K308 dan 0.089 pada K309. Nilai rata-rata temperatur udara yang terukur di bawah standar (22°C) menunjukkan bahwa performansi AC mampu mencapai temperatur di bawah target. Untuk memenuhi target temperatur maka *setting set point* dapat dilakukan sesuai standar yang ada.

Tabel 8.
Rata-rata Temperatur dan Kecepatan Udara

Jenis Kereta	Standar (°C)	T (°C)	Standar (m/s)	V (m/s)
K308	22 - 26	20.45	≤ 0,5	0.09075
K309	22 - 26	21.65	≤ 0,5	0.08975
K1	22 - 26	21.97	≤ 0,5	0.12

KESIMPULAN

Melalui Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM.17 Tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelayakan Gerbong, dinyatakan bahwa temperatur pada kereta yang dilengkapi dengan AC adalah 22-26°C dengan kecepatan udara maksimal 0,5 m/detik. Berdasarkan standar UIC 553 disebutkan bahwa jika temperatur udara ambient (Indonesia) adalah 35°C maka standar temperatur dalam ruang kereta adalah 23°C, kelembaban udara 65% dan kecepatan udara yang jatuh di atas dikepala penumpang tidak melebihi 0,3 m/detik. Berdasarkan hasil pengujian oleh ITS terhadap AC produksi PT. INKA tipe ACI-4001, kapasitas pendinginan mencapai 46.876,05 kCal/jam, telah melebihi kapasitas desain sebesar 40.000 kCal/jam. Ini bermakna bahwa performansi AC INKA mampu menampung beban pendinginan melebihi desain kapasitas pendinginan hingga 17.19%. Berdasarkan hasil pengujian AC INKA pada kereta K3 *New Image* yang didapat, jika dibandingkan dengan standar keberterimaan yang ada, semua parameter telah sesuai dengan rata-rata temperatur ruang adalah 20.45°C-21.65°C. Sedangkan rata-rata kecepatan udara pada kereta penumpang yang terukur adalah 0.089-0.09 m/detik. Nilai rata-rata temperatur udara yang terukur di bawah standar (22°C) menunjukkan bahwa performansi AC mampu mencapai temperatur di bawah target. Untuk memenuhi target temperatur maka *setting set point* dapat dilakukan sesuai standar yang ada. Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa PT. INKA telah mampu mendesain dan membuat sistem pengkondisian udara sesuai spesifikasi yang diinginkan serta memiliki *performance* yang baik, memenuhi standar yang dipersyaratkan oleh Keputusan Menteri Perhubungan Nomer PM.16 Tahun 2011 tentang Standar, Tata Cara Pengujian dan Sertifikasi Kelayakan Peralatan Khusus, dan

standar UIC 553 6th Edition February 2004. Produk AC INKA yang telah digunakan oleh PT. KAI, diantaranya: ACI-1802 pada KA eksekutif tahun 2015, sudah dipakai PT. KAI, ACI-1803 pada KA ekonomi AC tahun 2016 dan KA eksekutif tahun 2016, ACI-2501 pada KA Inspeksi tahun 2014-2015 dan ACI-4001 yang direncanakan pada KA Bandara Soekarno Hatta.

SARAN

PT. INKA selaku industri manufaktur sarana perkeretaapian telah mampu mendesain dan memproduksi AC untuk KA penumpang dan telah memenuhi persyaratan sesuai regulasi yang telah ditetapkan serta performansi yang baik saat operasional pada sejumlah KA di lintas PT. KAI, disarankan agar produk AC PT. INKA dapat digunakan secara meluas didalam negeri, tidak lagi menggunakan produk AC impor.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PT. INKA yang telah memberikan kesempatan kepada penulis guna melakukan penelitian tentang sistem pengkondisian udara pada sarana kereta api.

DAFTAR PUSTAKA

- _____. 1965. *Handbook of Air Conditioning System Design*. McGraw Hill Book Company. New York.
- _____. 2001. *Tata Cara Perancangan Sistem Ventilasi dan Pengkondisian Udara Pada Bangunan Gedung*. Direktorat Jendral Cipta Karya. Jakarta.
- _____. 2004. *UIC Code 553 Heating, Ventilation, and Air-Conditioning in Coaches*. Union Internationale des Chemin de Fer (UIC).
- _____. 2006. *EN 14750 Air Conditioning for Urban and Suburban Rolling Stock*. European Committee for Standardization. Brussels.

- Imam Abdurrahman, 2001. *Buku Petunjuk Pengoperasian dan Pemeliharaan ACTEL, TL-AC002-2001*. LIPI. Jakarta
- J.Stone & Co. 1986. *Stone Carrier Air Conditioning Equipment for Indonesia, Description and Instructions for Installation, Operation and Maintenance*. London: DEPTFORD LIMITED.
- Wahyu Pribadi, 1987. *Perhitungan Beban Pendinginan Gerbong Penumpang Kelas I PT. INKA*. Technical Note DT32-045. Bandung: Direktorat Teknologi, PT. IPTN.
- _____. 2016. *Laporan Kegiatan Pengujian Kapasitas Pendinginan Sitem Pengkondisian Udara ACI-4001*. Laboratorium Energi dan Pengkondisian Lingkungan Jurusan Teknik Fisika Institut Teknologi 10 Nopember.
- _____. 2016. AC Konvekta 7401. www.konvekta.de
- _____. 2004. ANSI/ASHRAE STANDARD 34 “AI-No Flame Propagation and Low Toxicity”. ANSI
- _____. 2016. Direktorat Teknologi. PT. INKA (Persero).

