Perancangan Sistem Tata Udara Bertekanan Negatif pada Gerbong Kereta Api untuk Orang Berpenyakit Menular

Frederick Hiero[1,*], Sumeru[2], Bowo Yuli Prasetyo[3]

[1]Jurusan Teknik Refrigerasi, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40012
E-mail : [1,]frederick.hiero.tptu419@polban.ac.id; [2]sumeru@polban.ac.id; [3]bowo_yuli@polban.ac.id*

Abstrak

Sistem tata udara digunakan untuk mengondisikan udara pada suatu ruangan pada temperatur dan kelembaban tertentu. Peranan sistem tata udara sangat penting untuk penyakit menular seperti Covid-19. Semua penyakit yang dapat menular melalui udara dapat dicegah dengan ruangan bertekanan negatif. Ruangan bertekanan negatif adalah kondisi tekanan udara dalam ruangan lebih kecil dibandingkan di luar ruangan. Perancangan ini bertujuan agar dapat merancang ruangan bertekanan negatif pada gerbong kereta api, dapat menentukan debit udara masuk dan udara keluar, dan menentukan unit kipas yang akan dipakai. Untuk merancang ruangan bertekanan negatif, membutuhkan udara keluaran yang lebih besar dibandingkan udara masuk dengan cara menghitung beban pendingin, debit udara masuk dan keluaran, seleksi unit, dan gambar sistem tata udara pada gerbong kereta api. Hasil yang didapat yaitu kapasitas pendingin sebesar 136641.094 Btu/hr dan membutuhkan debit udara masuk sebesar 4606 CFM dan debit udara keluar sebesar 7390 CFM sehingga dapat membuat ruangan bertekanan negatif sebesar -15 Pa.

Kata Kunci
Sistem Tata Udara, Gerbong kereta api, bertekanan negatif , beban pendingin, debit udara masuk, debit udara keluar

1. Pendahuluan

Pada tahun 2019, dunia menghadapi dengan adanya Covid 19. Covid merupakan penyakit menular yang bergejala demam, sesak, batuk, dst [1]. Covid dapat ditularkan melalui berbagai cara seperti udara dan kontak fisik. Udara yang mengandung virus penyakit menular beresiko untuk tersebar sehingga secara tidak sengaja dapat dihirup oleh orang lain.

Penyebaran penyakit menular dapat dicegah dengan cara memakai masker, mencuci tangan, menjaga jarak, menghindari kerumunan, dan mengurangi mobilitas. Selain itu, penyebaran penyakit menular juga dapat dicegah dengan cara mengisolasi orang yang tertular penyakit tersebut.

Isolasi merupakan salah satu cara pemerintah untuk mengurangi penyebaran penyakit menular di Indonesia yaitu dengan cara tidak keluar dari ruangan. Isolasi dilakukan tidak hanya dengan tidak keluar dari suatu ruangan tetapi juga menjaga udara yang mengandung virus penyakit menular agar tidak keluar dari ruangan.

Ketika seseorang dengan penyakit menular harus keluar dengan suatu kepentingan tertentu (misal: mencari fasilitas pengobatan) artinya orang tersebut beresiko untuk menularkan penyakit terutama ketika di dalam transportasi seperti kereta. Maka dari itu, pemerintah harus melakukan pencegahan penularan penyakit pada kereta dengan cara membuat gerbong khusus orang berpenyakit menular *(Hospital Train).*

Gerbong khusus orang berpenyakit menular ini dirancang untuk menampung dan merawat orang yang sakit sehingga orang yang sakit tersebut dapat diantar ke tempat tujuan dengan aman. Agar penderita penyakit tidak menularkan terhadap yang lain, gerbong harus didesain dengan sistem tata udara yang bertekanan negatif.

Dalam sebuah karya ilmiah, tekanan udara negatif merupakan keadaan tekanan udara yang ada dalam ruangan tersebut lebih kecil dibandingkan tekanan udara lingkungan [2]. Tekanan negatif ini dipakai agar udara yang terkontaminasi dengan virus/bakteri tidak keluar dari gerbong. Hal ini disebabkan udara dari tekanan yang lebih besar akan terhisap ke ruangan yang tekanannya lebih kecil. Gerbong tersebut dibuat bertekanan negatif dengan cara merancang *exhaust* lebih besar dari *supply* dengan bantuan *fan*.

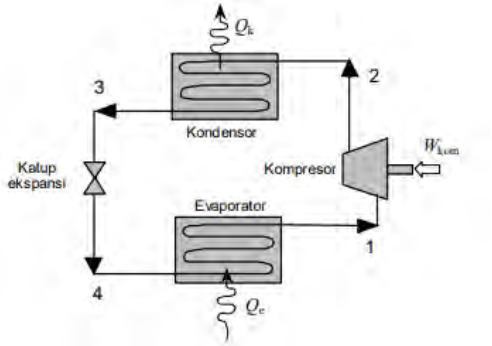
Selain itu, gerbong khusus ini juga harus dirancang menggunakan *filter* dengan jenis HEPA. *Filter* ini digunakan untuk menyaring

bakteri maupun virus agar udara yang masuk dan keluar dari gerbong berkualitas tinggi sehingga penghuni gerbong dapat menghirup udara segar.

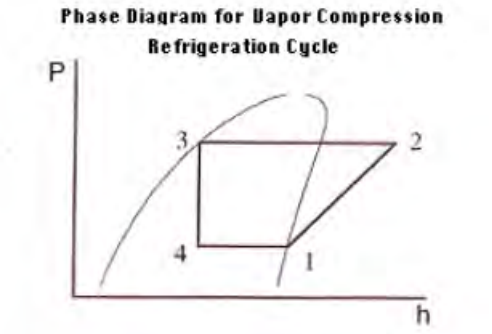
1.1. Sistem Tata Udara

Sistem tata udara menggunakan konsep siklus kompresi uap. Mesin ini memiliki 4 komponen utama yaitu kompresor, kondenser, ekspansi, dan evaporator [3]. Berikut Gambar 1 skema dari siklus kompresi uap sederhana.

Dalam menentukan kapasitas pendinginan, kapasitas pemanasan, daya kompresi, dan COP dapat dihitung melalui diagram P-H seperti pada gambar 2.



Gambar 1 Siklus Kompresi Uap Sederhana



Gambar 2 Diagram P-H Kompresi Uap Ideal

1.2. Ruangan Bertekanan

Tekanan udara pada suatu ruangan memiliki tiga jenis yaitu tekanan netral, tekanan positif, dan tekanan negatif.

1. Tekanan Netral
   Tekanan netral merupakan kondisi yang tekanan udara di ruangan sama dengan tekanan udara di lingkungan. Biasanya tekanan udara netral dapat ditemui di rumah, hotel, kantor, dan lain- lain.

2. Tekanan Positif
   Yang dimaksud dengan tekanan positif adalah tekanan dalam ruangan lebih besar dibandingkan tekanan udara lingkungan sehingga udara akan terdorong keluar dari ruangan atau bisa juga disebut *clean room*. Ruangan bertekanan positif dapat ditemui di ruang operasi atau *clean room* lainnya.

3. Tekanan Negatif
   Gerbong kereta api untuk berpenyakit menular harus bertekanan negatif. Tekanan negatif berguna agar udara yang terkontaminasi penyakit tidak dapat keluar dari ruangan hal ini selaras dengan undang–undang [4]. Hal ini disebabkan jika tekanan pada ruangan lebih rendah dibandingkan tekanan luar ruangan, udara akan terhisap ke dalam ruangan bertekanan yang lebih rendah.

Dalam merancang tekanan negatif pada suatu ruangan dapat dihitung melalui persamaan berikut.

- Debit Udara
  Debit udara akan dihitung melalui Persamaan 1. Satuan yang akan dipakai untuk perancangan yaitu CFM [5]. Khusus nilai ACH yang dipakai menyesuaikan dengan rekomendasi WHO [6].

$$CMH = V\ x\ ACH \quad (1)$$

  Keterangan:
  CMH : *Cubic Feet Meter per Hour*
  V : *Volume*
  ACH : Pertukangan Udara

- Menentukan Area Kebocoran
  Area kebocoran merupakan celah yang akan mempengaruhi tekanan dalam suatu ruangan. Area kebocoran dapat dihitung melalui Persamaan 2 [7].

$$area\ kebocoran: A\ x\ Nilai\ Faktor \quad (2)$$

- Diferensial Debit Udara
  Dalam merancang ruang bertekanan negatif membutuhkan debit udara keluar yang lebih besar. Nilai perbedaan udara yang keluar dengan yang masuk dapat dihitung dengan Persamaan 3 [8].

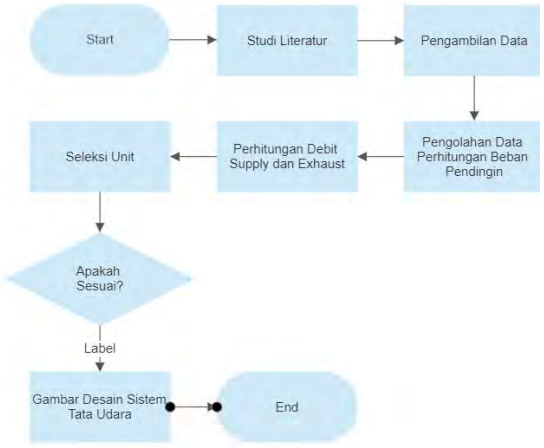
$$\Delta Q = A\ X\ \alpha\sqrt{\Delta P} \quad (3)$$

Keterangan:
ΔQ : Diferensial Debit Udara
A : Area Kebocoran (m²)
α : Koefisien Pembuangan (0,85)
ΔP : Diferensial Tekanan (Pa)

- Menentukan Debit Udara Suplai
  Penjumlahan debit udara masuk dengan diferensial debit udara yang sudah dihitung mengakibatkan udara yang keluar lebih besar. Hal ini dapat membuat tekanan menjadi negatif sesuai yang ditentukan.

$$Q\ Exhaust: \Delta\ Q + Q\ supply \quad (4)$$

2. Metodologi



Gambar 3 Flowchart Metodologi

Pada Gambar 3 menunjukan langkah-langkah merancang sistem tata udara pada gerbong kereta api.

1. Melakukan Studi Literatur
   Sebelum melakukan perancangan sistem tata udara pada gerbong kereta api, lakukan studi literatur mengenai sistem tata udara bertekanan negatif yang akan diterapkan di kereta api seperti ruang isolasi pada rumah sakit.

2. Melakukan Pengambilan Data
   Setelah melakukan studi literatur, hal yang harus dilakukan yaitu mengambil data yang diperlukan agar dapat melanjutkan perancangan. Pada perancangan ini data yang diperlukan yaitu gambar desain gerbong kereta api, bahan dinding yang digunakan dalam gerbong, dan lain–lain.

3. Melakukan Perhitungan Data
   Langkah selanjutnya yaitu melakukan pengolahan atau perhitungan data. Data yang harus dihitung adalah *cooling load* dan *air flow exhaust system*. Hal ini agar dapat memilih *unit exhaust fan* yang dipakai di dalam gerbong.

4. Seleksi Unit
   Setelah mendapat *cooling load*, lakukan seleksi unit berdasarkan beban pendingin yang sudah dihitung sehingga bisa mencari *fan exhaust* yang akan dipakai. Setelah melakukan seleksi unit lakukan perbandingan dengan perhitungan beban pendingin yang didapat jika belum sesuai atau terdapat kesalahan, lakukan kembali perhitungan beban pendingin hingga benar.

5. Menggambar Sistem Distribusi Udara
   Setelah mendapat *air flow* dan juga alat yang di pakai, langkah selanjutnya yaitu menggambar desain. Sistem tata udara dirancang dengan tekanan negatif sehingga debit yang keluar dibuat lebih besar dari debit yang masuk.

6. Kesimpulan
   Setelah melakukan desain gambar sistem tata udara di gerbong, langkah selanjutnya yaitu melakukan kesimpulan. Kesimpulan dilakukan agar pembaca bisa memahami isi laporan secara singkat.

3. Data Perancangan

1. Lokasi Kereta Api
   Kereta api yang akan dirancang pada studi ini terletak di Manggarai, Jakarta Selatan yang memiliki letak geografis 6˚12’28.80360” Lintang Selatan dan 106˚50’58.36560” Bujur Timur.

2. Data Gerbong Kereta Api
   Gerbong kereta api yang akan dirancang terdiri dari 6 ruangan yaitu koridor, ruang isolasi, toilet, ruang O2 sentral gas, ruang anter, dan ruang perawat. Gerbong memiliki dimensi ruang yaitu 15m x 3m x 3,7m.

3. Data Temperatur
   Temperatur lingkungan pada gerbong kereta api diambil dari *freemateo*. Kondisi udara lingkungan kawasan

tersebut memiliki temperatur maksimal 34˚C dengan kelembaban 59%.

4. Data Tekanan Ruangan

Tekanan udara pada ruangan pada gerbong adalah tekanan negatif. Namun khusus koridor akan dirancang netral. Berikut tabel 1 menunjukan tekanan yang sudah ditentukan [9].

Tabel 1 Data Tekanan Ruangan

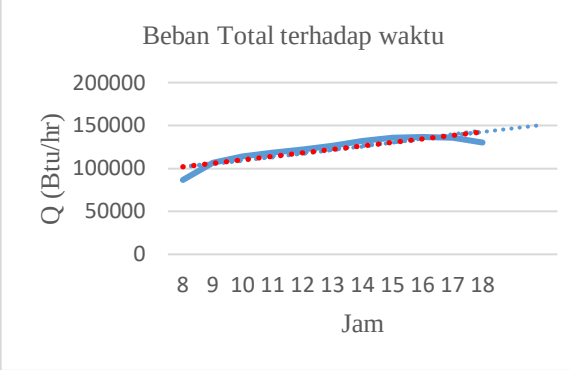
Nama Ruangan	Tekanan (Pa)
R. Anter	-10
R. Perawat	-10
R. O2 Sentral Gas	-10
R. Isolasi	-15
Toilet	-15

4. Hasil Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan adalah beban pendinginan dan debit udara keluaran (*exhaust*). Beban pendingin adalah energi yang dibutuhkan untuk mengatur temperatur dan kelembaban sesuai dengan kondisi ruangan [10]. Beban pendingin akan digunakan untuk melakukan seleksi unit AC paket pada kereta.

4.1. Analisis Beban Pendingin

Hasil yang diperoleh dari menghitung beban pendingin total ditunjukan pada Gambar 4.



Gambar 4 Beban Pendinginan Total

Pada Gambar 4 dapat dilihat bahwa beban puncak berada di jam 16.00 WIB yaitu sebesar 136641,094 Btu/hr. Perolehan nilai Q sensibel pada dinding sebesar 38256,8 Btu/hr, atap sebesar 18250 Btu/hr, lantai 2233,49 Btu/hr, radiasi sebesar 3656 Btu/hr, kaca 1463 Btu/hr, lampu sebesar 4655 Btu/hr, manusia 10064 Btu/hr, infiltrasi sebesar 3259,94 Btu/hr, dan ventilasi 1425,6 Btu/hr. Lalu untuk perolehan nilai Q laten pada manusia sebesar 40960 Btu/hr, infiltrasi 8639,45 Btu/hr, dan ventilasi 3778,104 Btu/hr.

4.2. Perhitungan Debit Udara

Hasil perhitungan debit udara setiap ruangan pada gerbong kereta api dapat dilihat pada Tabel 2. Debit udara ini digunakan untuk mendapat debit udara keluar. Khusus untuk toilet tidak terdapat udara suplai. Perhitungan debit udara suplai menggunakan Persamaan 1.

Tabel 2 Debit Udara Masuk

Nama Ruangan	Debit Udara (CFM)
R. Anter	100
R. Perawat	60
R. O2 Sentral Gas	50
R. Isolasi	450
Koridor	120

4.1. Perhitungan Area Kebocoran

Area kebocoran pada gerbong berasal dari pintu, stop kontak, saklar, lampu, outlet gas medis, dan ventilasi. Perhitungan area kebocoroan menggunakan persamaan 2. Total dari area kebocoran tersebut sebesar 0,09 m².

4.2. Perhitungan Diferensial Debit Udara

Perhitungan diferensial debit udara menggunakan persamaan 3. Pada ruangan yang bertekanan -15 Pa memiliki diferensial debit udara 627 CFM sedangkan ruangan yang bertekanan -10 Pa memiliki diferensial sebesar 508 CFM.

4.3. Perhitungan Debit Udara *Exhaust*

Perhitungan debit udara *exhaust* menggunakan persamaan 4. Penjumlahan debit udara keluaran akan mengakibatkan tekanan udara dalam ruangan menjadi kecil sehingga udara akan terhisap ke ruangan yang tekanannya lebih kecil. Pada Tabel 3 menunjukan hasil perhitungan debit udara *exhaust*.

Tabel 3 Debit Udara Keluaran

Nama Ruangan	Debit Udara Keluaran (CFM)
R. Isolasi (4 Suplai)	2430
Toilet (0 Suplai)	630
R. Anter (2 Suplai)	910
R. Perawat (2 Suplai)	750
R. O2 Sentral Gas (2 Suplai)	710

Koridor (4 Suplai)	800	

4.4. Seleksi Unit

Dalam melakukan seleksi unit AC paket harus berdasarkan beban pendingin yang sudah dihitung sedangkan untuk seleksi unit *exhaust fan* harus berdasarkan debit udara yang sudah dihitung.

5. Kesimpulan

Dari perancangan sistem tata udara bertekanan negatif untuk gerbong isolasi ini dapat disimpulkan bahwa :

1. Tekanan udara pada ruangan isolasi dan toilet sebesar -15 Pa sedangkan untuk ruangan lainnya sebesar -10 Pa.
2. Beban pendingin pada kereta sebesar 136641.0944 Btu/Hr sehingga dapat menggunakan unit AC paket merk StoneAire model series SAK630-407-ZBH30.2 dengan debit udara sebesar 2303 CFM.
3. Debit exhaust yang harus dipakai agar mencapai tekanan yang diinginkan yaitu sebesar 7390 CFM atau 12555 CMH sehingga exhaust fan yang digunakan merk Kruger model CSD 400 6P-3 1SC.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak PT. Cikami karena telah membantu serta pihak Politeknik Negeri Bandung yang sudah membimbing dan mendukung dalam proses penyusunan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, "Pedoman Pencegahan dan Pengendalian Serta Definisi Coronavirus Disease (COVID-19)," *Germas*, pp. 11–45, 2020, [Online]. Available: https://infeksiemerging.kemkes.go.id/download/REV-04_Pedoman_P2_COVID-19__27_Maret2020_TTD1.pdf [Diakses 11 Juni 2021].

[2] S. A. Rahman, R. Chaidir, and D. Sudarmadi, "Pembuatan Perangkat Negative Pressure Room Portable untuk Klinik Central Medika Ciwastra Bandung," *J. Pengabdi. Tri Bhakti*, vol. 3, no. 1, pp. 47–51, 2021, doi: 10.36555/tribhakti.v3i1.1726.

[3] A. Aziz, "Siklus Kompresi Uap Menggunakan Refrigeran Hidrokarbon Substitusi R22," no. 1.

[4] Peraturan Menteri Kesehatan RI, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No 24 Tahun 2016 Tentang Persyaratan Teknis Bangunan dan Prasarana Rumah Sakit," *Menteri Kesehat. Republik Indones. Peratur. Menteri Kesehat. Republik Indones.*, vol. Nomor 65, no. 879, pp. 2004–2006, 2016.

[5] P. Satwiko, "Ventilasi Alamiah," *Univ. Airlangga*, no. 6, pp. 1–18, 2009.

[6] Kementrian Kesehatan RI Direktorat Jenderal Bina Upaya Kesehatan, *Seri Perencanaan Pedoman Teknis Ruang Isolasi*. 2015. [Online]. Available: file:///C:/Users/WINDOWS10/Downloads/pedoman-teknis-ruang-isolasi.pdf

[7] R. Cycles *et al.*, "1997 ASHRAE Handbook," *ASHRAE Handb.*, 1997, [Online]. Available: http://www.ashrae.org.

[8] ASHRAE, *Museums, Galleries, Archives, and Libraries*. 2015.

[9] S. Sarbani, "Manajemen Tata Udara di Ruang Isolasi," *Kerja sama DPW PPNI Jawa Timur dan DPW HIPPII Jawa Timur*, p. 32, 2020, [Online]. Available: https://rspmanguharjo.jatimprov.go.id/wp-content/uploads/2020/09/Tata-Udara-Pandemi-kirim.pdf

[10] E. Purwanto and K. Ridhuan, "Pengaruh Jenis Refrigerant Dan Beban Pendinginan Terhadap Kemampuan Kerja Mesin Pendingin," *Turbo J. Progr. Stud. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 11–16, 2014, doi: 10.24127/trb.v3i1.19.