

Evaluasi Sistem Sirkulasi Udara Kapal Penumpang PELNI pada Masa Pandemi COVID-19

Erna Mei Lestari^{*1}, Abdy Kurniawan¹, Chairunnisa², Kamarul Hidayat¹

Pusat Penelitian dan Pengembangan Transportasi Laut, SDP, Badan Litbang Perhubungan¹

Jl. Medan Merdeka Timur No. 5, Gambir, Jakarta Pusat 10110, Indonesia

Sekretariat Badan Litbang Perhubungan²

Jl. Medan Merdeka Timur No. 5, Gambir, Jakarta Pusat 10110, Indonesia

E-mail: erna_mei@dephub.go.id

Diterima: 2 Agustus 2021, disetujui: 30 Agustus 2021, diterbitkan *online*: 31 Desember 2021

Abstrak

COVID-19 merupakan wabah penyakit yang telah menyebar secara cepat dalam skala global dan berdampak pada berbagai sektor termasuk transportasi laut. Dibutuhkan kesiapan dari subsektor di bidang transportasi laut untuk pencegahan ataupun minimalisasi penyebarannya seperti kesiapan penanganan di pelabuhan, termasuk kesiapan dari moda transportasi itu sendiri. COVID-19 memiliki karakteristik yang mudah untuk menyebar dalam ruangan yang tertutup dan sirkulasi udara yang kurang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sistem sirkulasi udara di atas kapal agar sesuai dengan kriteria udara sehat dan nyaman, khususnya pada kabin penumpang kelas ekonomi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keandalan sistem ventilasi udara di atas kapal penumpang KM Kelud sudah mengalami penurunan. Kemampuan sirkulasi udaranya berada di bawah standar yang ditetapkan sehingga termasuk rawan untuk penyebaran penyakit. Untuk meminimalkan penyebaran COVID-19, direkomendasikan untuk melakukan *maintenance* sistem ventilasi udara, penambahan kapasitas sistem ventilasi udara, penggunaan filter udara dengan standar medis, dan memperketat penerapan protokol kesehatan di atas kapal.

Kata kunci: COVID-19, kapal penumpang, sirkulasi udara.

Abstract

Evaluation of Air Circulation System of PELNI's Passenger Ship during the COVID-19 Pandemic: COVID-19 is a disease outbreak that has spread rapidly on a global scale and has an impact on various sectors including sea transportation. It requires readiness from the sub-sector in the field of sea transportation to prevent or minimize its spread, including the readiness for handling at the port in the form of the mode of transportation preparedness. COVID-19 has the characteristics of being easy to spread in a closed room and poor air circulation. This study aims to determine how to evaluate the air circulation system on board to fulfill the criteria for healthy and comfortable air, especially in the economy class passenger cabin. The results showed that the reliability of the air ventilation system on board the KM Kelud passenger ship has decreased. The air circulation ability is below the established standard, so it is prone to the spread of disease. To minimize the spread of COVID-19, it is recommended to maintain the air ventilation system, increase the capacity of the air ventilation system, use air filters with medical standards, and tighten the application of health protocols on board.

Keywords: COVID-19, passenger ship, air circulation.

1. Pendahuluan

COVID-19 adalah penyakit menular yang disebabkan oleh jenis *coronavirus* yang baru ditemukan [1]. Virus baru dan penyakit yang disebabkan ini tidak dikenal sebelum mulainya wabah di Wuhan, Tiongkok, bulan Desember 2019. COVID-19 ini sekarang menjadi sebuah pandemi yang terjadi di banyak negara di seluruh dunia [2]. COVID-19 dapat menyebar terutama dari orang ke orang melalui percikan-percikan dari hidung atau mulut yang keluar saat orang yang terinfeksi COVID-19 batuk, bersin, atau berbicara. Orang dapat terinfeksi dengan menyentuh benda atau permukaan yang terpapar percikan tersebut, kemudian menyentuh mata, hidung, atau mulut mereka [3].

Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) mengklasifikasikan model penularan virus korona di Indonesia telah masuk tahapan penularan komunitas. Klasifikasi ini berarti Indonesia sudah mengalami penyebaran yang lebih besar dari penularan lokal atau *community transmission*, di mana dalam tahap ini pelacakan orang yang menjadi sumber penularan akan lebih rumit. Karena wabah COVID-19 ini meluas dan orang-orang yang sudah terinfeksi di tengah masyarakat sukar diidentifikasi, maka akan banyak pasien yang positif menderita COVID-19 meski tidak bepergian ke negara yang terjangkit atau melakukan kontak dengan kasus lain yang terkonfirmasi. Mereka tidak tahu terinfeksi di mana dan dari siapa. Penularan virus antarorang terjadi di tengah masyarakat tanpa klaster yang jelas.

doi: <http://dx.doi.org/10.25104/warlit.v33i2.1965>

0852-1824/ 2580-1082 ©2021 Sekretariat Badan Penelitian dan Pengembangan Perhubungan.

Artikel ini *open access* dibawah lisensi CC BY-NC-SA (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

Nomor akreditasi: (RISTEKDIKTI) 10/E/KPT/2019 (Sinta 2).

Kasus awal penyebaran COVID-19 pada moda transportasi diidentifikasi menyebar pada kapal pesiar Diamond Princess [4]. Identifikasi awal terhadap kasus tersebut mengindikasikan bahwa virus ini mudah menyebar di dalam ruang tertutup jika sirkulasi udaranya kurang baik [5]. Hal ini dipertegas dengan penelitian lain yang menunjukkan bahwa transmisi udara oleh aerosol kecil yang mengandung SARS-CoV-2 kemungkinan besar merupakan mode dominan penularan COVID-19 di atas kapal [6]. Pada objek yang sama juga ditemukan indikasi bahwa semakin tinggi jumlah penumpang yang asimtomatik, maka rasio penularan COVID-19 pada penumpang dan kru kapal juga semakin tinggi [7]. Asimtomatik juga dikenal dengan istilah Orang Tanpa Gejala (OTG) di mana orang yang termasuk dalam kategori ini sudah menderita penyakit secara positif namun tidak merasakan gejala-gejala umum atau belum terdeteksi sampai akhirnya dilakukan pemeriksaan secara medis [8]. Banyaknya interaksi OTG sebagai *silent carrier* dalam satu komunitas akan menyebabkan *silent transmission* atau penyebaran secara meluas tanpa terdeteksi [9]. Ruang akomodasi untuk penumpang kapal atau kabin penumpang dapat dikategorikan sebagai ruang tertutup sehingga proses sirkulasi udara ditunjang oleh sistem mekanis di mana kondisi sirkulasi udara yang baik sesuai standar akan sepenuhnya bergantung kepada keandalan sistem tersebut [10][11][12]. Sebagai sebuah ruangan yang tertutup, sirkulasi udara pada kabin penumpang banyak mengandalkan sistem resirkulasi yaitu udara yang keluar akan dialirkan lagi oleh *Air Handling Unit* (AHU) ke dalam kabin penumpang, setelah sebelumnya disaring melalui *filter* udara [13]. Sistem penularan COVID-19 melalui udara dari penyangaran dan ventilasi yang buruk, termasuk udara yang disirkulasi ulang di atas kapal dapat menyebabkan penyebaran virus yang lebih tinggi dari yang diperkirakan di dalam kabin [14]. Udara pada ruang tertutup tidak hanya mengandung oksigen namun juga beberapa partikel seperti HCHO (*formaldehida*) dan PM 2,5 (*particulate matter*) yang dapat berbahaya bagi kesehatan manusia jika jumlahnya melewati ambang batas aman [15][16].

Pada bulan Mei 2019, Badan Litbang Kementerian Perhubungan melaksanakan survei *on board* untuk mengumpulkan opini responden terkait penyelenggaraan angkutan lebaran dengan menggunakan moda angkutan laut pada *peak season* (sebelum pandemi). Hasil pengamatan di KM Kelud menunjukkan indikasi sistem ventilasi atau sirkulasi udara di kapal kurang memadai, khususnya pada kabin penumpang kelas ekonomi di dek yang berbeda sehingga banyak penumpang yang mengeluh sesak napas dan kegerahan. Hasil penelusuran informasi menunjukkan fakta bahwa kondisi sirkulasi udara yang kurang baik terjadi pada kabin penumpang kelas ekonomi yang telah mengalami modifikasi dari struktur *seat* penumpang menjadi *seat* bertingkat

(*double tier*) sehingga kapasitasnya menjadi dua kali lipat dibandingkan sebelumnya, sementara tidak ada penambahan kapasitas sistem ventilasi/sirkulasi kapal di kabin tersebut [17].

2. Metodologi

Metodologi penelitian merupakan suatu kerangka dasar yang digunakan sebagai acuan untuk menyelesaikan suatu permasalahan yang akan dipecahkan atau dianalisis.

2.1. Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan sumber data primer dan sekunder. Data primer dikumpulkan melalui pengukuran langsung pada titik ventilasi udara di atas KM Kelud, khususnya pada ruang akomodasi penumpang kelas ekonomi. Pengukuran dilaksanakan pada April 2021 dengan menggunakan alat anemometer dan *air quality detector*. Data sekunder yang dikumpulkan adalah data profil umum dan sistem ventilasi udara kapal [18][19].

2.2. Pengolahan Data

Penelitian ini bersifat deskriptif kuantitatif dengan analisis yang merujuk kepada sistem perpindahan kalor untuk mengevaluasi kondisi sistem ventilasi / sirkulasi udara di atas kapal khususnya di kabin penumpang kelas ekonomi yang selanjutnya dievaluasi berdasarkan standar sirkulasi dan kesehatan udara [20][21][22][23][24].

2.3. Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini menggunakan kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan adalah anemometer dan *air quality detector*. Anemometer merupakan alat untuk mengukur kecepatan angin, sedangkan *air quality detector* adalah alat untuk mengukur kualitas udara. Hasil pengukuran dengan kedua alat tersebut selanjutnya diolah dengan bantuan perangkat lunak (*software*) Microsoft Excel dengan formula yang mengacu kepada rangkaian pengolahan data dari sumber di atas.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Penerapan Protokol Kesehatan di Atas Kapal

Pandemi COVID-19 mengharuskan pihak operator transportasi laut untuk melakukan adaptasi agar kegiatan pelayanan jasa tetap dapat berjalan sekaligus meminimalkan penyebaran COVID-19. Adaptasi kebiasaan baru diwujudkan dalam penerapan protokol kesehatan di sektor transportasi. Penerapan untuk angkutan laut meliputi berbagai rangkaian pemeriksaan fisik dan dokumen perjalanan. Penerapan protokol kesehatan diawali pada simpul transportasi (pelabuhan) di mana setiap calon penumpang wajib menunjukkan dokumen hasil pemeriksaan kesehatan yang berlaku selama

periode waktu perjalanan yang diikuti dengan pemeriksaan fisik untuk mengidentifikasi tanda-tanda awal penyakit seperti pengecekan suhu tubuh. Pemenuhan syarat dokumen dan kesehatan fisik menjadi syarat agar calon penumpang dapat dilayani. Sebagai penyelenggara jasa, pihak operator pelabuhan juga perlu memastikan penerapan protokol untuk petugas lapangan, calon penumpang, dan fasilitas pelabuhan. Penerapan protokol kesehatan pada pelabuhan, baik untuk protokol embarkasi maupun debarkasi dilakukan melalui berbagai macam kegiatan seperti sterilisasi ruang tunggu secara berkala, penerapan *physical distancing*, penempatan *hand sanitizer*, serta pemberian informasi terkait protokol kesehatan kepada calon penumpang, baik melalui pengumuman audio maupun poster edukasi yang ditempatkan pada area yang mudah terlihat dan berlanjut hingga ke proses pemeriksaan akhir sebelum calon penumpang melakukan embarkasi. Penerapan protokol kesehatan menjadikan simpul transportasi sebagai filter awal untuk mencegah penyebaran COVID-19 melalui sektor transportasi.

Penerapan protokol kesehatan di atas kapal diarahkan untuk mengantisipasi pergerakan aktif penumpang sejak embarkasi hingga debarkasi. Terdapat beberapa protokol kesehatan yang sama di atas kapal dengan di pelabuhan, termasuk penyesuaian pelayanan di atas kapal pada masa pandemi. Penerapan *physical distancing* di atas kapal untuk penumpang kelas ekonomi dilaksanakan dengan pengurangan kapasitas tiap dek menjadi 50% yang ditandai dengan penerapan *seat* kosong di antara tiap *seat* yang terisi. Dari kondisi tersebut dapat disimpulkan bahwa kapasitas angkut kapal pada masa pandemi menjadi sama dengan kapasitas angkut kapal sebelum dilakukan modifikasi *seat double tier*. Pelayanan Anak Buah Kapal (ABK) terhadap penumpang juga dilakukan dengan meminimalkan kontak antara lain dengan peniadaan pengecekan tiket ulang di atas kapal setelah kapal meninggalkan pelabuhan. Pengecekan tiket penumpang di atas kapal hanya dilakukan pada saat pembagian makanan. Kegiatan logistik pembagian makanan juga dilakukan dengan meminimalkan

kontak, bukan hanya antara ABK dengan penumpang, namun juga dengan sesama penumpang lainnya sehingga untuk kelas ekonomi ada sedikit perpanjangan waktu pembagian makanan dibandingkan sebelumnya. Secara khusus, ABK yang tugasnya banyak berinteraksi dengan penumpang selalu menggunakan APD standar medis. Beberapa ruang publik di atas kapal seperti *cafeteria*, bioskop, dan kantin kecil sementara ini tidak difungsikan, kecuali toko utama di dek tengah dan buritan, serta musala.

3.2. Kondisi Udara untuk Kenyamanan Penumpang

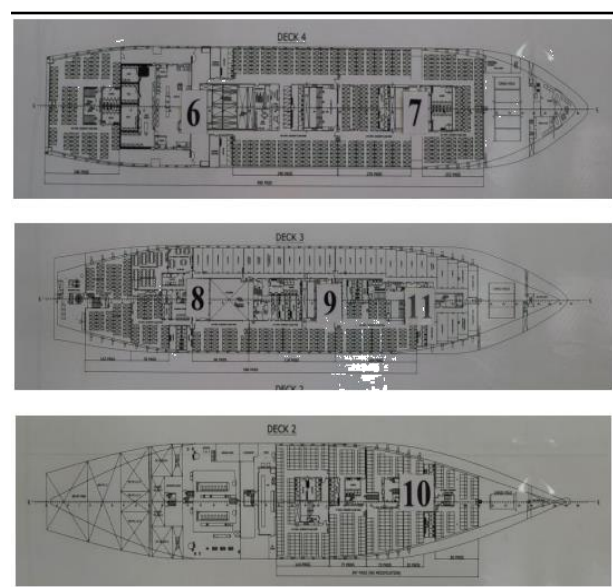
Tahap awal dalam analisis yang terkait dengan sirkulasi udara di kapal adalah penentuan volume ruangan terkait, yaitu penumpang kelas ekonomi. Pada gambar rencana umum (*general arrangement*) terlihat bahwa pengaturan ruangan pada dek 4, 3, dan 2 terbagi atas area terbuka dan area tertutup. Area terbuka yang dimaksud adalah lokasi penempatan *seat* untuk penumpang yang dihubungkan dengan *gangway*. Sementara itu area tertutup berupa area khusus yang dibatasi oleh pintu yang biasanya digunakan untuk instalasi sistem kapal, *cafeteria*, dan ruang kantor, sehingga volume spesifik pada setiap dek didapatkan dari selisih area tertutup dengan area terbuka. Pada penelitian ini, ada beberapa area yang sebelumnya bisa diakses oleh umum yang sekarang ditutup seperti *cafeteria* dan kantin kecil karena tidak difungsikan sehingga volume ruangan tersebut dimasukkan ke dalam kategori ruangan tertutup.

Sirkulasi udara di dalam kabin penumpang harus didesain khusus agar mampu memberikan rasa nyaman bagi penumpang. Variabel yang digunakan dalam analisis ini lebih kompleks lagi karena semakin banyak aspek yang harus dipertimbangkan, termasuk skenario pemuatan penumpang. Analisis pada tahapan ini tidak dilakukan lagi secara menyeluruh mulai dari perencanaan kebutuhan hingga



Sumber: Survei, 2021

Gambar 1. Penerapan protokol kesehatan di KM Kelud



Sumber: PELNI, 2021

Gambar 2. General arrangement KM Kelud

pemasangan instalasi karena analisis HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) dan pemasangan instalasi sistem sirkulasi udara kapal ini telah dilakukan pada saat perancangan dan pembangunan kapal ini dan tercatat hingga saat ini belum pernah dilakukan perubahan sistem. Meskipun demikian, untuk mengetahui kebutuhan ventilasi udara secara spesifik, yaitu kebutuhan daya untuk sistem ventilasi udara di kabin penumpang kelas ekonomi, tetap dilakukan analisis awal yang sama dengan analisis HVAC umumnya dengan tahapan dan menggunakan data dan persamaan untuk penentuan volume ruangan, jumlah jendela, luasan dinding, luasan lantai, hingga persamaan empiris untuk penentuan beban kalor internal, beban radiasi, dan beban transmisi.

Skenario pemuatan penumpang dalam analisis ini adalah variasi estimasi jumlah penumpang pada okupansi maksimum akibat penambahan kapasitas penumpang melalui modifikasi bentuk *seat* penumpang dari ranjang biasa menjadi ranjang bertingkat (*double tier*) pada tahun 2014. Oleh karena itu, ada peningkatan kapasitas 100% pada dek 4 dan dek 3, sementara untuk dek 2 tidak dilakukan modifikasi namun tetap dimasukkan ke analisis karena masuk ke dalam kategori dek penumpang kelas ekonomi. Faktor lainnya yang diperhitungkan adalah faktor kalor akibat aktivitas manusia di atas kapal karena kondisi kapal memungkinkan penumpang di atasnya untuk melakukan beberapa aktivitas. Namun dengan adanya pandemi COVID-19, maka ada pembatasan jenis aktivitas yang dilakukan di atas kapal, yaitu berkumpul di *cafeteria*, makan bersama, dan menonton bioskop. Sementara itu, beberapa aktivitas lain yang masih diperbolehkan adalah berbelanja di toserba kapal yang terletak di beberapa dek duduk pada anjungan dan area terbuka di bagian buritan kapal. Hasil analisis penentuan estimasi perubahan suhu akibat aktivitas penumpang dan beban kalor pada beberapa skenario kapasitas penumpang dapat dilihat pada tabel 1.

3.3. Kesehatan Udara di Kabin Penumpang Kelas Ekonomi

Particulate matter merupakan suatu campuran kompleks dari partikel padat dan cair sangat kecil yang ditemukan di udara. Partikel merupakan satu dari sekian banyak pencemar yang sering dijadikan sebagai salah satu indikator pencemaran udara untuk menunjukkan tingkat bahaya dalam lingkungan di dalam ruang (*indoor*) maupun di luar ruang (*outdoor*)

terhadap kesehatan. Salah satu partikel yang dapat masuk ke dalam saluran pernapasan adalah PM_{2,5}. PM_{2,5} merupakan bahan pencemar yang terdiri dari campuran kompleks partikel seperti debu, kotoran, asap, dan cairan yang ditemukan di udara yang dihasilkan dari aktivitas transportasi, industri, aktivitas rumah tangga, dan kegiatan penghasil polusi udara lainnya sehingga dapat dengan mudah ditemukan di mana saja. Berdasarkan hasil pengumpulan data pada kabin penumpang kelas ekonomi di dek 4, 3, dan 2 dapat diidentifikasi bahwa kadar PM_{2,5} yang tertinggi berada pada dek 4 dengan rentang 61-117. Lebih detail, pada saluran udara masuk berada pada rentang 61-110 atau pada kategori baik dan mendekati batas atas, sementara pada saluran *exhaust* nilainya berada pada rentang 83-117 atau rata-rata pada kategori baik. Namun, ada satu titik yang nilainya sudah pada kategori buruk (di atas 115). Kondisi PM_{2,5} pada dek 3 lebih baik daripada dek 4 karena nilai kandungan PM_{2,5} di udara pada titik pengukuran berada pada kategori ideal dan baik (41-77) dan hanya sedikit titik pengukuran yang menunjukkan nilai kandungan yang berada pada kategori baik namun mendekati batas atas (89-112). Hasil pengukuran pada dek 2 menunjukkan karakteristik yang hampir sama dengan dek 3. Sebagian besar kandungan PM_{2,5} di udara berada pada kategori ideal dan baik. Meskipun sebagian kecil titik pengukuran menunjukkan nilai pada rentang baik, namun nilai tersebut mendekati batas atas 115.

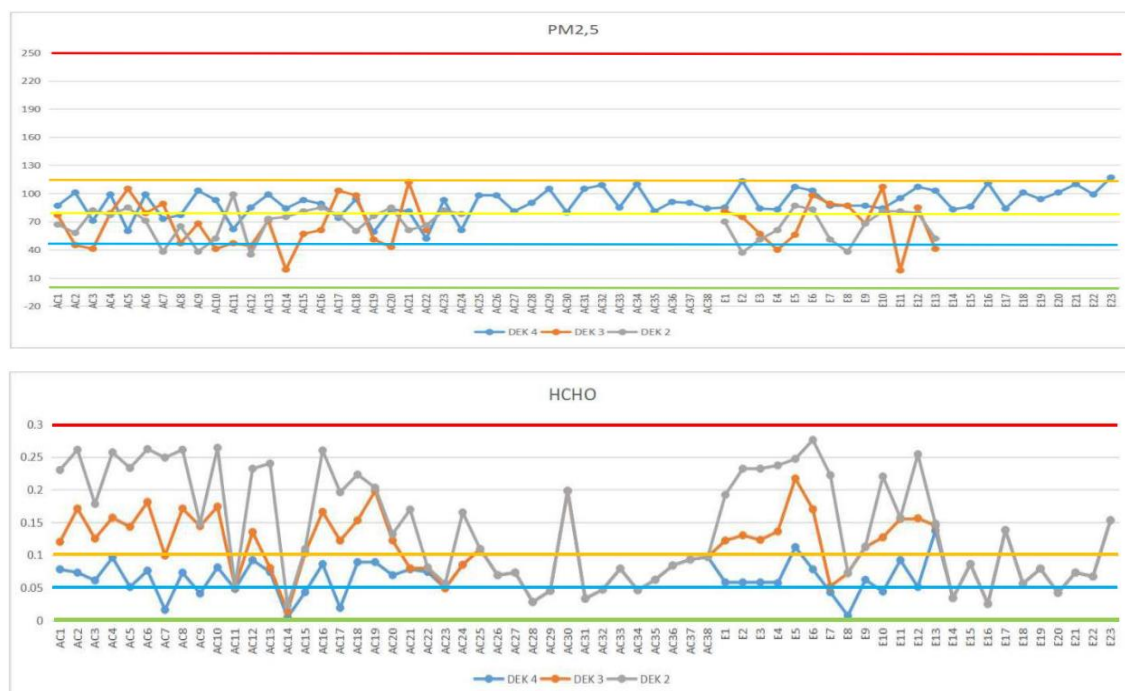
Formaldehida (HCHO) merupakan salah satu jenis senyawa karbonil beracun tak berwarna dengan bau tak sedap bahkan dalam konsentrasi yang rendah yang mudah menguap dalam suhu kamar. Kadar formaldehida udara sebesar 0,1–0,5 ppm dapat menyebabkan responden mengalami gejala iritasi pada mata dan iritasi umum pada saluran pernapasan. Tiap individu memiliki sensitivitas yang berbeda dalam menerima paparan *formaldehida* sehingga paparan *formaldehida* menimbulkan reaksi yang berbeda pula. Paparan akut formaldehida pada manusia dapat menyebabkan iritasi mata, hidung, tenggorokan, dan sulit bernapas, terutama pada konsentrasi lebih dari 0,1 ppm. Sementara itu, paparan menahun (kronis) *formaldehida* pada manusia dapat menyebabkan kanker. Hasil pengukuran kualitas udara pada kabin penumpang kelas ekonomi di dek 4, 3, dan 2 menunjukkan karakteristik kandungan HCHO pada udara hampir serupa di seluruh dek dengan rentang nilai 0,06–0,07 atau pada kategori baik, namun sudah mendekati batas atas sebesar 0,1.

Secara umum, karakteristik sebaran PM_{2,5} dan HCHO pada kabin penumpang kelas ekonomi berkaitan erat dengan kondisi sirkulasi udara dari sistem ventilasi. Perbedaan kecepatan udara masuk

Tabel 1. Kondisi suhu udara dalam kabin penumpang

Dek	4		3		2
Kapasitas (orang)	Modifikasi	Orisinal	Modifikasi	Orisinal	Orisinal
	990	495	568	284	347
Estimasi suhu (°C)	37,5	34,8	34,49	34,26	30,28

Sumber : Hasil analisis, 2021



Sumber: Survei, 2021

Gambar 3. Hasil pengukuran HCHO dan PM_{2,5}

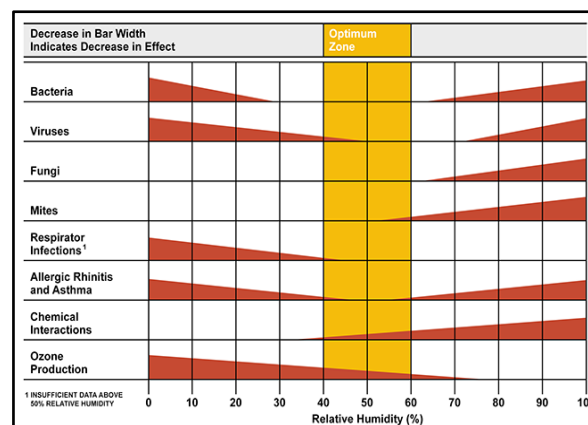
dan keluar secara langsung menentukan karakteristik sebaran partikel tersebut di udara. Kecepatan udara masuk yang lebih tinggi mengakibatkan sebaran partikel menjadi lebih rendah pada titik-titik *inlet*. Sebaliknya, kecepatan keluar udara yang lebih rendah di titik-titik *exhaust* mengakibatkan sebaran partikel berbahaya lebih banyak berada di sekitar area tersebut. Meskipun ada perbedaan jumlah sebaran di udara pada kedua titik tersebut, risiko penyebaran penyakit akibat partikel berbahaya ini dapat dianggap sama karena karakteristik kabin penumpang di kapal ini adalah berupa ruangan tertutup. Secara spesifik, kondisi sistem AC *inlet* dan *exhaust* pada dek 3 dan dek 2 perlu diperhatikan karena hasil pengukuran menunjukkan terdapat banyak titik yang tercatat memiliki kecepatan udara yang rendah sehingga bisa dikatakan sirkulasi udara pada area ini juga rendah. Hasil pengukuran kandungan HCHO dan PM_{2,5} pada setiap kabin penumpang kelas ekonomi tiap dek KM Kelud dapat dilihat pada gambar 3.

Faktor lain yang mempengaruhi potensi penyebaran virus di ruang tertutup adalah kelembapan ruangan. Dari hasil pengukuran, kualitas kelembapan udara rata-rata di dek 4, 3, dan 2 memiliki sebaran titik-titik yang cukup merata. Nilai kelembapan rata-rata menunjukkan bahwa dek 4 memiliki kelembapan rata-rata tertinggi yaitu 66,38%, dek 3 sebesar 64,25%, dan dek 2 sebesar 61,17%. Secara kumulatif, dapat disimpulkan bahwa kelembapan dek 3 dan dek 2 masih berada pada kategori kelembapan yang ideal, sementara dek 4 sudah berada dalam kategori lembap. Berdasarkan

standar kelembapan udara sehat, diketahui bahwa pada area dengan kategori lembap (di atas 66%) sudah mulai mendekati kategori rawan untuk penyebaran virus.

3.4 Keandalan Sistem Sirkulasi Udara

Fungsi sirkulasi udara adalah salah satu hal yang wajib dalam kapal, khususnya pada ruang akomodasi penumpang karena selain terkait dengan aspek kenyamanan, juga terkait dengan aspek kesehatan. Oleh karena itu, dalam perancangan kapal, khususnya pada bagian *Heating, Ventilation, and Air Conditioning* (HVAC) diberlakukan standar sirkulasi udara. Untuk kapal berbendera Indonesia yang dikelaskan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), sistem HVAC-nya merujuk kepada *Regulations for Ventilation Systems on Board Seagoing Ships* pada Section 2. Pada regulasi tersebut disarankan



Sumber: [24].

Gambar 4. Kriteria kelembapan udara

Tabel 2. Sirkulasi udara

Indikator	Dek 4	Dek 3	Dek 2
Volume ruangan (m ³)	8,357.05	4,708.01	4,014.05
Volume udara masuk (m ³ /jam)	1,629,315	995,085	597,780
Volume udara keluar (m ³ /jam)	1,574,640	923,400	414,720
Sirkulasi udara masuk (m ³ /siklus)	108,621	66,339	39,852
Sirkulasi udara keluar (m ³ /siklus)	104,976	61,560	27,648
Standar sirkulasi udara	15 (Per Jam)		
Jumlah sirkulasi masuk per jam	13.00	14.09	9.93
Jumlah sirkulasi keluar per jam	12.56	13.08	6.89

Sumber: Hasil analisis, 2021

pergantian udara pada kabin penumpang (dek akomodasi) sebanyak 15 kali per jam. Artinya, secara kumulatif, sistem yang terpasang harus mampu menyirkulasikan udara sesuai volume ruangan seluruhnya sebanyak 15 kali dalam sejam. Dalam kegiatan operasionalnya, sistem HVAC untuk kabin penumpang dapat bekerja secara terus menerus sehingga untuk mendapatkan rasio pertukaran udara dilakukan dengan membandingkan nilai kumulatif udara masuk dan keluar dan dibandingkan dengan volume ruangan dan selanjutnya terhadap standar yang berlaku. Perbandingan kemampuan sirkulasi udara dari instalasi terpasang dengan standar dari BKI dapat dilihat pada tabel 2.

Hasil analisis pada tabel 2 menunjukkan bahwa telah terjadi penurunan performa dari sistem HVAC karena realisasi pertukaran udara saat ini nilainya berada di bawah standar yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia. Selain adanya penurunan performa generator, adanya inefisiensi pada sirkulasi udara juga dapat dipengaruhi oleh kondisi saluran (*duct*). Jika salurannya banyak ditutupi debu yang tebal, maka kecepatan udara yang mengalir di dalamnya juga akan berpotensi menjadi lambat. Jika berada pada saluran udara masuk, akan berpotensi membawa partikel yang berbahaya jika dihirup kembali oleh penumpang. Area tertutup yang memiliki sirkulasi udara dan kelembapan yang kurang baik dan ditambah dengan adanya partikel berbahaya seperti HCHO dan PM2,5 dalam jumlah yang tinggi akan mengakibatkan risiko penyakit terhadap sistem pernapasan yang sesuai dengan karakteristik COVID-19 yang juga menyerang sistem pernapasan. Selain itu, zat ini juga sudah diidentifikasi berpotensi menjadi *carrier* virus COVID-19.

4. Kesimpulan

Berdasarkan latar belakang dan analisis dapat disimpulkan bahwa secara umum, sirkulasi udara kurang baik karena rasio pertukaran udara masuk

dan keluar tidak merata. Akibatnya, secara kumulatif, keandalan sistem sirkulasi udara menunjukkan nilai yang berada di bawah standar yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia. Aspek kenyamanan kabin penumpang dipengaruhi oleh jumlah penumpang di mana kenaikan suhu udara berbanding lurus dengan jumlah penumpang. Pada tingkat okupansi maksimal, suhu udara akan menjadi gerah dan tidak nyaman tanpa adanya penambahan kapasitas pendingin udara. Kandungan partikel berbahaya HCHO dan PM2,5 pada kabin penumpang berada pada kategori baik, namun pada beberapa titik menunjukkan nilai yang mendekati ambang batas ke kategori buruk. Berdasarkan posisi pengukuran, dapat diidentifikasi bahwa udara yang memiliki kandungan HCHO dan PM2,5 yang tinggi berada pada sekitar area titik *exhaust*.

Kabin penumpang kapal sebagai sebuah ruang akomodasi yang sifatnya tertutup menggunakan udara yang di resirkulasi sehingga perlu memperhatikan keandalan sistem HVAC yang terpasang di atas kapal agar sesuai dengan standar sirkulasi udara di atas kapal. Terdapat dua alternatif untuk sistem udara yaitu *upgrade* sistem dan kapasitas HVAC, dan *maintenance* fasilitas *existing*. Kedua alternatif ini diharapkan mampu meningkatkan sirkulasi udara dengan menciptakan *negative pressure* di dalam ruangan. Untuk meminimalkan penyebaran virus COVID-19 yang bersifat *airborne* dan aerosol, filter udara dengan standar medis seperti MERV hingga HEPA dapat dipertimbangkan untuk digunakan dalam proses resirkulasi udara. Penggunaan filter udara jenis ini perlu menyesuaikan standar tekanan udara yang dibutuhkan oleh filter dengan kemampuan AHU yang terpasang.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih yang sebesar-besarnya kami sampaikan kepada Kepala Puslitbang Transportasi Laut, SDP beserta rekan-rekan peneliti, Direksi PT. PELNI (persero), nakhoda dan anak buah kapal KM Kelud, Bapak Ir. Muryadin. M.Sc (BPPT), Bapak Muhdar Tasrief, Ph.D (BKI), serta seluruh pihak yang memberikan bantuannya baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan kajian ini.

Daftar Pustaka

- [1] World Health Organization, "Coronavirus". [Online]. Available: https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1
- [2] World Health Organization, "WHO/Europe | Coronavirus disease (COVID-19) outbreak - About the virus.". [Online]. Available: <https://www.euro.who.int/en/health-topics/health-emergencies/coronavirus-COVID-19/novel-coronavirus-2019-ncov>.
- [3] World Health Organization, "Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?". [Online]. Available: <https://www.who.int/emergencies/disease>

- s/novel-coronavirus-2019/question-and-answers-hub/q-a-detail/coronavirus-disease-COVID-19-how-is-it-transmitted.
- [4] N. F. Shalihah, "Mengenal Kapal Diamond Princess yang Dikarantina karena Virus Corona... Halaman all - Kompas.com," Kompas.com, Feb. 19, 2020. [Online]. Available: <https://www.kompas.com/tren/read/2020/02/19/125238565/mengenal-kapal-diamond-prince-ss-yang-dikarantina-karena-virus-corona?page=all>.
 - [5] P. Xu *et al.*, "Transmission routes of COVID-19 virus in the Diamond Princess Cruise ship," *medRxiv*, p. 2020.04.09.20059113, Apr. 2020, doi: 10.1101/2020.04.09.20059113
 - [6] P. Azimi, Z. Keshavarz, J. G. C. Laurent, B. R. Stephens, and J. G. Allen, "Mechanistic Transmission Modeling of COVID-19 on the Diamond Princess Cruise Ship Demonstrates the Importance of Aerosol Transmission," *medRxiv*, p. 2020.07.13.20153049, Jul. 2020, doi: 10.1101/2020.07.13.20153049.
 - [7] L.-S. Huang, L. Li, L. Dunn, and M. He, "Taking account of asymptomatic infections: A modeling study of the COVID-19 outbreak on the Diamond Princess cruise ship," *PLoS One*, vol. 16, no. 3, p. e0248273, Mar. 2021, doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0248273.
 - [8] A. Susilo *et al.*, "Coronavirus Disease 2019: Tinjauan Literatur Terkini," *J. Penyakit Dalam Indones.*, vol. 7, no. 1, pp. 45-67, Apr. 2020, doi: 10.7454/JPDI.V7I1.415.
 - [9] A.-H. El-Gilany, "COVID-19: The enigma of asymptomatic carriers and silent transmission.," *Int. J. Heal. & Allied Sci.*, vol. 10, no. 1, pp. 11-11, Jan. 2021, 2021. [Online]. Available: <https://go.gale.com/ps/i.do?p=HRCA&sw=w&issn=22784292&v=2.1&it=r&id=GALE%7CA651108272&sid=googleScholar&linkaccess=fulltext>.
 - [10] A. Susanto, Y. Arnas, and Z. Hidayat, "Analisis Kebutuhan Beban Pendingin Dengan Metode Cooling Load Temperature Difference (CLTD) Pada Ruang Lobby Gedung Simulator Sekolah Tinggi Penerbangan Indonesia," *Langit Biru J. Ilm. Aviasi*, vol. 10, no. 3, pp. 31-41, Oct. 2017. [Online]. Available: <http://journal.ppicurug.ac.id/index.php/jurnal-ilmiah-aviasi/article/view/233>.
 - [11] M. Tasrief, "Studi Sistem Ventilasi Udara Ruang Tidur Taruna Pada Kapal Latih BP2IP Barombong - Makassar." Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Makassar, 2006.
 - [12] B. Utomo, "Sistem Ventilasi Dalam Kapal," *TEKNIK*, vol. 28, no. 1, pp. 76-82, 2007, doi: 10.14710/TEKNIK.V28I1.2038.
 - [13] V. Mihai and L. Rusu, "An Overview of the Ship Ventilation Systems and Measures to Avoid the Spread of Diseases," *Invent. 2021*, Vol. 6, Page 55, vol. 6, no. 3, p. 55, Jul. 2021, doi: 10.3390/INVENTIONS6030055.
 - [14] O. Almilaji, "Air Recirculation Role in the Spread of COVID-19 Onboard the Diamond Princess Cruise Ship during a Quarantine Period," *Aerosol Air Qual. Res.*, vol. 21, no. 4, p. 200495, Apr. 2021, doi: 10.4209/AAQR.200495.
 - [15] N. S. M. Nor *et al.*, "Particulate matter (PM 2.5) as a potential SARS-CoV-2 carrier," *Sci. Reports 2021 111*, vol. 11, no. 1, pp. 1-6, Jan. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-81935-9.
 - [16] R. A. Pohan, "Pengukuran Kadar Gas Formaldehid dalam Ruangan dan Keluhan Iritasi pada Pekerja di Toko Tekstil Kawasan Pasar Ikan Lama Medan Tahun 2006." Fakultas Kesehatan Masyarakat Universitas Sumatera Utara, Sumatera Utara, 2006.
 - [17] P. P. dan P. T. LSDP, Penyembrangan, "Laporan Monitoring Penyelenggaraan Angkutan Laut Lebaran. Badan Penelitian dan Pengembangan Perhubungan. Kementerian Perhubungan Republik Indonesia," Jakarta, 2019
 - [18] "BKI Reliable | Home." <https://www.bki.co.id/shipregister-6678.html>.
 - [19] Heinen & Hopman Engineering BV, "AC and Ventilation System KM. Kelud." PELNI, 1997.
 - [20] M. A. Saad, Termodinamika, Prinsip dan Aplikasi. Jakarta: Prenhallindo, 1999.
 - [21] H. Saito and W. Arismunandar, *Penyegaran Udara*, 6th ed. Jakarta: Pradnya Paramita, 2002.
 - [22] B. K. Indonesia, "Regulations for Ventilation Systems on Board Seagoing Ships." Biro Klarifikasi Indonesia, Jakarta, 2004.
 - [23] Kementerian Kesehatan, "Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 Tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah," 2011.
 - [24] A. AV, S. EM, B. JH, and S. TD, "Indirect health effects of relative humidity in indoor environments," *Environ. Health Perspect.*, vol. 65, pp. 351-361, 1986, doi: 10.1289/EHP.8665351.

Halaman ini sengaja dikosongkan