

Studi Pola Awan Cumulonimbus di Indonesia pada Musim Basah (Desember s.d. Februari)

Dina Yuliana^{*1}, Danang Eko Nuryanto², Dedi Septiadi²

Pusat Pembiayaan Infrastruktur Transportasi, Sekretariat Jenderal Kementerian Perhubungan¹
Jl. Merdeka Barat No. 8, Gambir, Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10110, Indonesia

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)²
Jl. Angkasa I No. 2, Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10610, Indonesia

E-mail: dina.yuliana@dephub.go.id*

Diterima: 6 Desember 2021, disetujui: 12 Juni 2023, diterbitkan *online*: 30 Juni 2023

Abstrak

Perencanaan jalur penerbangan mempunyai fungsi yang sangat vital guna menunjang keselamatan penerbangan. Tidak sedikit kasus kecelakaan pesawat terbang terjadi, salah satunya karena adanya gangguan cuaca pada jalur penerbangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis potensi jalur penerbangan yang aman pada saat musim penghujan di bulan Desember-Januari-Februari di Indonesia. Untuk itu digunakan data citra satelit dari generasi Himawari yang dikumpulkan dari tahun 2015-2019, yaitu parameter suhu puncak awan/ *temperature black body* (TBB). Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah statistik deskriptif dengan menghitung frekuensi kejadian dari threshold TBB ≤ 241 K. "Wilayah-wilayah yang berpotensi mengalami delay dikarenakan faktor cuaca yang buruk terjadi pada bagian barat Indonesia seperti Sumatera pada jam 12.00-13.00 dan pukul 15.00-16.00. Probabilitas tinggi (60%) diprediksi membentuk awan *cumulonimbus* (Cb) di sepanjang Pulau Jawa (+bagian Barat), Bali, NTB, NTT, sepanjang barat Sumatera (+bagian Utara), dan sepanjang pantai Selatan Pulau Kalimantan dengan kisaran waktu pukul 14.00-20.00".

Kata kunci: jalur, keselamatan, meteorologi, penerbangan.

Abstract

Study of Cumulonimbus Cloud Patterns in Indonesia During the Wet Season (December to February): *Flight path planning has a very vital function to support flight safety considering the numerous incidents of aircraft accidents attributed to weather disturbances on the flight path. This study aimed to analyze the safety of flight path potential during the rainy season in December-January-February in Indonesia. For this reason, satellite image data from the Himawari generation collected from 2015-2019 was used, which was the temperature black body (TBB) parameter. This analysis used the description statistics method by counting the frequency of occurrence from threshold TBB < 241 K. Western Indonesia, such as Sumatera at 12-1 p.m. and 3-4 p.m., are potential for a delay due to bad weather. Additionally, a high probability (60%) of cumulonimbus cloud formation is predicted along Java Island (+western), Bali, West Nusa Tenggara, East Nusa Tenggara, along western Sumatera (+northern), and the south coast of Kalimantan Island with a range at 2-8 p.m.*

Keywords: *flight, meteorology, safety, path.*

1. Pendahuluan

Kondisi cuaca dan iklim sangat berpengaruh dalam penerbangan. Meteorologi penerbangan dapat mempengaruhi operasional penerbangan, memberikan dampak ekonomis, dan dampak pada keselamatan penerbangan. "Nilai ekonomis yang terkait cuaca dapat berupa efisiensi bahan bakar pesawat terbang, sedangkan dampak keselamatan dapat berupa ancaman penerbangan pada waktu lepas landas (*take off*), saat mengudara, dan saat akan mendarat (*landing*)". Informasi kondisi cuaca/iklim terkini terhadap penerbangan dapat memberikan dampak positif, yaitu untuk peningkatan keselamatan penerbangan, efektivitas, dan efisiensi operasi penerbangan dengan menghindari cuaca

yang berbahaya dan memanfaatkan fenomena cuaca. Pada fase-fase tertentu, pesawat terbang akan bergerak sejajar angin di mana hal ini dapat menambah efisiensi dalam penerbangan dikarenakan pesawat seakan-akan hanyut dalam aliran angin pada fase tersebut. Dengan kondisi ini, waktu tempuh penerbangan menjadi lebih singkat sehingga menghemat bahan bakar. Dalam kondisi ini, muatan pesawat juga dapat ditambah.

Dampak negatif antara lain berupa fenomena cuaca yang menjadi perangkap pesawat terbang, di mana jika personel penerbangan tidak wasapada, maka akan terjebak dalam kondisi yang dapat membahayakan keselamatan penerbangan. Fase *take off* dan *landing* menjadi fase paling kritis dalam penerbangan sehingga ketepatan informasi

doi: <http://dx.doi.org/10.25104/warlit.v35i1.1962>

0852-1824/ 2580-1082 ©2023 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).

meteorologi sangat diperlukan dalam penerbangan. Kekurangcermatan awak pesawat dalam mengantisipasi atau menghindari kondisi cuaca dapat membahayakan penerbangan.

Perubahan iklim dan cuaca di suatu wilayah dapat mempengaruhi suatu penerbangan antara lain berupa jarak pandang (*visibility*) yang penting di saat lepas landas dan pendaratan, angin yang dapat menggeser posisi pesawat udara, perubahan suhu udara yang mempengaruhi besaran gaya angkat, dan perubahan tekanan atmosfer yang berpengaruh terhadap ketepatan penunjukan ketinggian pesawat udara. Dengan demikian, fenomena cuaca pada kondisi tertentu dan perubahannya akan sangat mempengaruhi operasi penerbangan. Kecelakaan penerbangan bisa terjadi karena fenomena cuaca seperti udara, tekanan atmosfer, angin, kelembaban, kondisi awan, hujan, dan berbagai kondisi lainnya. Setelah pesawat tinggal landas dan meninggalkan bandar udara, pesawat akan masuk ke jalur penerbangan menuju *checkpoint* bandar udara tujuan.

“Informasi meteorologi yang tepat dan signifikan dapat membantu menentukan rute baru atau menghindari rute dengan kondisi cuaca buruk sehingga jalur penerbangan dapat direncanakan dengan tepat”. Perencanaan jalur penerbangan yang tepat akan mendukung *air traffic flow management*. Berdasarkan latar belakang ini, maka diperlukan suatu kajian tentang pengaruh kondisi meteorologi terhadap perencanaan jalur penerbangan.

Faktor cuaca buruk yang dapat mempengaruhi keselamatan penerbangan di antaranya adalah munculnya awan *cumulonimbus* (Cb). awan Cb merupakan awan yang harus dihindari pesawat terbang karena dalam awan Cb terdapat arus udara naik dan turun yang dapat menyedot dan bahkan menghempaskan pesawat [1]. Lokasi awan Cb sangat penting untuk diketahui ketika akan melakukan penerbangan. Hal ini terkait dengan turbulensi yang kuat, kondisi lapisan es, dan petir, yang dapat berakibat fatal selama penerbangan. Oleh karena itu, mengamati dan meramalkan adanya awan Cb merupakan komponen penting dari layanan cuaca penerbangan seperti yang ditetapkan oleh Organisasi Penerbangan Sipil Internasional [2]. Keberadaan awan Cb dan petir sangat berbahaya bagi penerbangan sehingga dapat mengakibatkan penundaan di bandar udara [3]. Berdasarkan hal ini, maka pertanyaan penelitian ini adalah bagaimana pengaruh kondisi meteorologi dalam perencanaan jalur penerbangan. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh meteorologi dalam perencanaan jalur penerbangan guna mendukung keselamatan, efisiensi, dan kelancaran penerbangan.

Navigasi penerbangan adalah proses mengarahkan gerak pesawat udara dari satu titik ke

titik yang lain dengan selamat dan lancar untuk menghindari bahaya dan/atau rintangan penerbangan [4]. Salah satu pelayanan navigasi penerbangan adalah pelayanan informasi meteorologi penerbangan (*aeronautical meteorological services*). Pelayanan navigasi penerbangan bertujuan untuk menghindari tabrakan antar pesawat, menghindari tabrakan antara pesawat udara di area manuver dan halangan di area tersebut, memperlancar arus lalu lintas penerbangan, memberikan informasi penerbangan yang aman dan efisien, memberitahu organisasi yang sesuai mengenai pesawat yang membutuhkan bantuan SAR, dan membantu organisasi yang diperlukan [5].

Unit Pelayanan Informasi Meteorologi harus menyusun dan membuat prosedur untuk memastikan setiap prasarana dan sarana meteorologi ditempatkan dan dikonfigurasi sedemikian rupa sehingga dapat menjamin keberlangsungan pelayanan operasional penerbangan yang merepresentasikan kondisi meteorologi setempat [6]. Penyediaan layanan Informasi Meteorologi Penerbangan merupakan tugas dari Unit Pelayanan Informasi Meteorologi di *Aerodrome*. Unit ini menyiapkan dan menerima prakiraan dan informasi cuaca setempat, *en route*, dan *aerodrome*.

Meteorological Watch Office/MWO merupakan Unit Pelayanan Informasi Meteorologi di *Aerodrome* yang memiliki tugas khusus dalam suatu area *flight information region* atau *area control center*. Pengamatan meteorologi tetap dilakukan terus menerus dalam wilayah tanggung jawabnya dan disesuaikan dengan operasi penerbangan meskipun kepadatan lalu lintas penerbangan rendah. Personel penerbangan yang mengoperasikan pesawat udara harus melakukan pengamatan, perekaman, dan pelaporan. Pengamatan yang dibuat meliputi: pengamatan rutin di pesawat udara selama *fase en-route* dan *fase climb-out* penerbangan, pengamatan khusus, dan pengamatan *non-rutin* di pesawat udara selama penerbangan. Rencana jalur udara dirancang untuk kepentingan keselamatan, efisiensi, dan kelancaran pelayanan navigasi penerbangan, serta harmonisasi dengan program kerja penerapan *Performance Based Navigation* (PBN) regional [7].

Pengaruh cuaca dan iklim pada aktivitas penerbangan secara umum dimulai dari saat akan lepas landas, mengudara, dan akan mendarat [8]. *Clear-air turbulence* (CAT) adalah salah satu penyebab terbesar insiden penerbangan terkait cuaca. Kondisi ini dapat menimbulkan ketidaknyamanan dan kejadian yang tidak diinginkan, bahkan dapat mencederai penumpang dan awak. Seringkali pilot tidak dapat menghindarinya karena tidak terlihat dengan mata telanjang dan tidak terdeteksi oleh sensor *onboard*. CAT dipengaruhi oleh kondisi wilayah geografis pada tingkat ketinggian tertentu [9]. Sistem verifikasi

obyektif untuk badai 5 hari Met Office dan prakiraan risiko awan Cb telah diteliti [10], misalnya prakiraan yang dirancang khusus untuk meramalkan dampak CB pada penerbangan di Area Manuver Terminal London, yang dikenal sebagai TMA London. Prakiraan yang dilakukan termasuk kemungkinan peristiwa badai petir berdampak sedang sampai tinggi.

Keselamatan penerbangan adalah hal utama yang perlu diperhatikan dalam operasional penerbangan. Dalam kenyataannya, penerbangan tidak jarang menghadapi hambatan, gangguan, dan pengaruh kondisi meteorologi [11]. Kecelakaan pesawat udara Maskapai Penerbangan Airasia QZ8501 pada tanggal 27 Desember 2014 telah dianalisis dengan menggunakan peta model keluaran *Weather Research Forecast* (WRF-ARW). Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diketahui bahwa pada saat itu terdapat awan Cb dan fenomena akibat tingginya aktivitas awan-awan badai disertai beberapa parameter cuaca di wilayah Laut Jawa dan sekitar Selat Karimata. Fenomena cuaca yang ada pada saat terjadinya kecelakaan di wilayah tersebut adalah turbulensi, *icing*, *vertical wind shear*, labilitas atmosfer, dan hujan [12].

Beberapa kejadian kecelakaan di Indonesia yang disebabkan cuaca buruk diantaranya adalah kecelakaan pesawat Lion Air yang tergelincir di Bandar Udara Adi Sumarmo pada tahun 2004. Kecelakaan ini mengakibatkan 26 orang meninggal dan 142 orang selamat [13]. Terdapat pula kecelakaan pesawat rute Surabaya-Manado yang dialami maskapai penerbangan Adam Air pada tahun 2007 yang menewaskan 96 orang dan 6 awak pesawat [13]. Pada tahun 2016, pesawat terbang jenis Airbus A330-243 milik *Etihad Airways* EY-474 rute Abu Dhabi – Jakarta mengalami insiden akibat turbulensi kuat yang mengakibatkan 31 orang mengalami luka ringan hingga patah tulang. Insiden tersebut terjadi diduga akibat turbulensi di sekitar Pulau Sumatera bagian selatan pada ketinggian sekitar 37.000 kaki [14]. Pada tanggal 7 Mei 2016, pesawat Hongkong *Airways* dengan nomor penerbangan HX-6705 mengalami hal yang sama di sekitar Pulau Kalimantan, di mana 3 orang mengalami korban luka berat dan 17 penumpang mengalami luka ringan [15]. Pada saat itu diberitakan pesawat terbang kira-kira pada ketinggian 41.000 kaki. Pada tanggal 12 Februari 2019, pesawat Lion Air jenis Boeing 737 900ER JT 780 rute dari Makassar menuju Palu mengalami turbulensi hebat, untungnya semua penumpang selamat dalam penerbangan ini [16].

Rute penerbangan didefinisikan sebagai lintasan pesawat udara melalui jalur penerbangan yang telah ditetapkan. Jalur penerbangan yang telah ditetapkan digunakan sebagai lintasan dari satu titik ke titik lain [4][6]. "Jalur udara atau rute udara adalah koridor yang ditentukan untuk menghubungkan satu lokasi tertentu ke lokasi lain pada ketinggian tertentu, di

mana sebuah pesawat udara yang memenuhi persyaratan jalan penerbangan dapat diterbangkan. Jalur udara ditentukan dengan segmen dalam blok ketinggian tertentu, lebar koridor, dan antara koordinat geografis tetap untuk sistem navigasi satelit, atau antara alat bantu navigasi pemancar radio berbasis darat (nav aids, seperti VOR atau NDB), atau persimpangan radial spesifik dari dua nav aid". Koridor udara merupakan wilayah ruang udara yang ditentukan di mana pesawat harus tetap berada selama transit melalui wilayah tertentu. Koridor udara biasanya diberlakukan oleh persyaratan militer atau diplomatik. Sementara itu, rencana penerbangan adalah dokumen yang diajukan oleh pilot atau operator penerbangan ke Penyedia Layanan Navigasi Udara setempat. Format rencana penerbangan ditentukan dalam *International Civil Aviation Organization* (ICAO) Doc 4444.

2. Metodologi

Teknik analisis yang digunakan dalam kajian ini adalah metode deskriptif dengan membandingkan data satu dengan yang lainnya melalui penyelidikan/komparasi. Analisis deskriptif akan ditampilkan secara visual dari hasil kajian melalui gambar, grafik, atau tabel. Data statistik yang digunakan dalam menganalisis data akan dideskripsikan dengan tujuan bukan untuk memberikan kesimpulan secara umum.

Data penelitian menggunakan data cuaca per jam selama periode tahun 2015-2019. Data yang diperoleh adalah suhu puncak awan (*Temperature Black-Body/TBB*) yang diidentifikasi sebagai representasi awan. Data diolah dengan cara dikelompokkan ke dalam kelompok bulan yang sesuai. Tahap selanjutnya adalah pelabelan apakah data tersebut termasuk dalam kelompok awan Cb atau bukan dengan memberikan *threshold* $TBB \geq 241$ K. Jika memenuhi *threshold* tersebut, maka data akan dikelompokkan sebagai kejadian awan Cb. Selanjutnya, setelah diperoleh sejumlah data kejadian awan Cb, data tersebut dibagi dengan jumlah *frame* data dalam satu kelompok bulanan tadi untuk proses perhitungan persentase, yaitu hasil rasio tersebut dikalikan dengan 100%.

Analisis data dilakukan pada periode 5 tahun dari 2015 s.d 2019 didasarkan pada cakupan wilayah dalam jalur penerbangan. Data dikelompokkan dalam 5 (lima) pola probabilitas kemunculan awan Cb yaitu probabilitas tinggi (60%), sedang (40%-50%), rendah (20%-40%), jauh lebih rendah (20%), dan sangat rendah (<5%). Tujuannya adalah untuk mengetahui peluang kemunculan awan Cb yang polanya bisa dipelajari. Dari pola probabilitas tersebut dapat diprediksi lokasi maupun waktu pembentukan awan Cb secara musiman.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Tren Pergerakan Pesawat Periode 2015 - 2019 di Bandar Udara Soekarno-Hatta Cengkareng

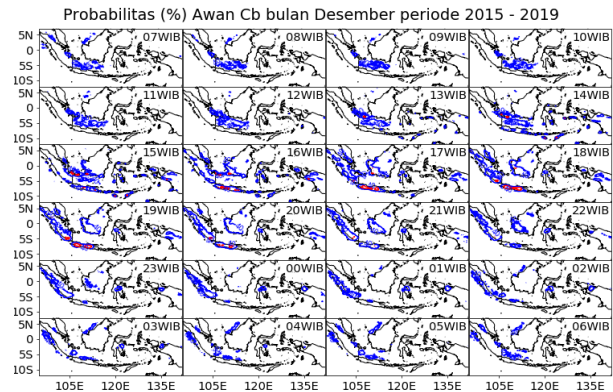
Sejalan dengan kebutuhan akan pengaturan lalu lintas penerbangan yang semakin baik, diharapkan agar tidak terjadi adanya perpanjangan antrian pesawat udara yang akan menggunakan *runway*, baik yang akan berangkat (*take-off*) ataupun yang akan mendarat (*landing*). Salah satu penyebab tundaan penerbangan di bandar udara adalah cuaca.

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa angkutan udara dari tahun 2016 s.d 2018 cenderung mengalami peningkatan. Jumlah angkutan udara tertinggi periode tersebut terjadi pada bulan Juni 2018 dengan jumlah angkutan udara yang dilayani sebanyak 1.412 pesawat. Namun, mulai Januari 2019 sudah memperlihatkan adanya penurunan jumlah angkutan udara dan rata-rata jumlah angkutan udara yang mengalami penurunan paling rendah terjadi pada bulan Mei 2019 dengan rata-rata yang dilayani adalah 922 pesawat [17].

3.2. Pola Cuaca Periode 2015-2019 di Indonesia

Berdasarkan data yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Penerbangan di Bandar Udara Soekarno-Hatta diketahui bahwa curah hujan periode tahun 2015 s.d 2019 tidak memiliki pola yang sama. Berdasarkan data selama lima tahun tersebut, rata-rata curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Februari. Suhu udara di sekitar Bandar Udara Soekarno-Hatta diketahui mempunyai pola yang sama setiap tahunnya.

Berdasarkan data yang diperoleh terhadap tekanan udara seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, maka dapat diketahui bahwa setiap tahun



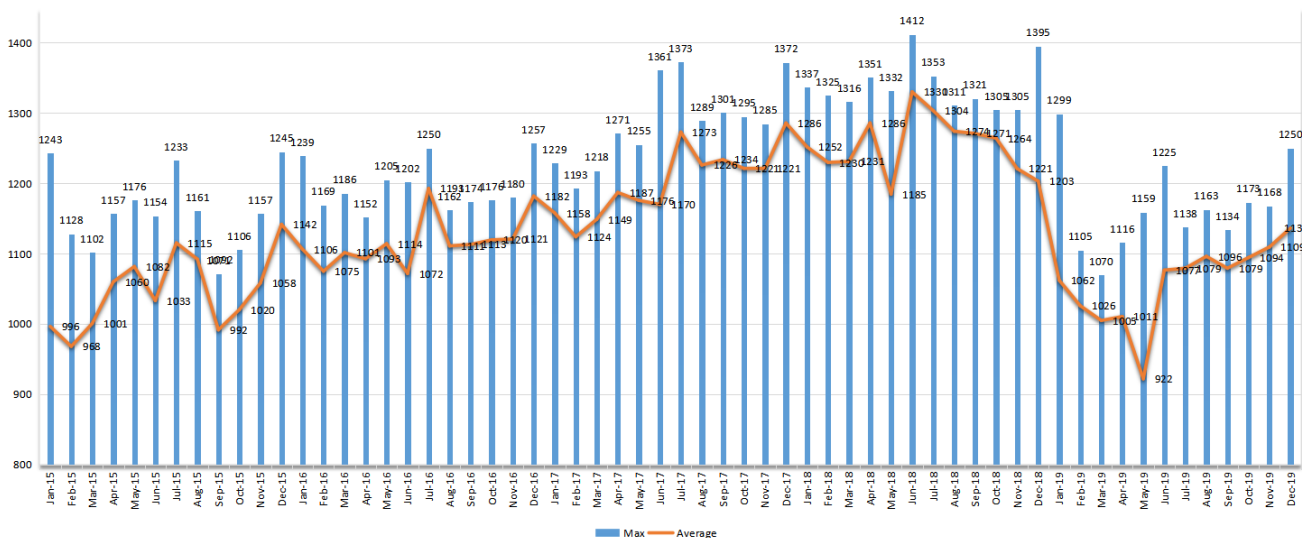
Sumber: Hasil analisis, 2021

Gambar 2. Probabilitas kemunculan awan Cb pada bulan Desember periode data 2015 – 2019. Warna biru > 40%, warna merah > 60%.

suhu udara mempunyai pola yang sama. Pada bulan Desember, probabilitas tinggi (>60%) kemunculan awan Cb terjadi di sepanjang Kalimantan Selatan, Pulau Jawa, Bali, NTB, dan NTT (Gambar 2). Pola dominan ini terjadi pada pukul 16:00 WIB hingga pukul 20:00 WIB. Probabilitas cukup tinggi lainnya terjadi di sepanjang pantai selatan Pulau Kalimantan, dengan probabilitas sekitar 40% - 50%, juga terjadi pada pukul 16:00 WIB hingga pukul 21:00 WIB. Kemunculan awan Cb dengan probabilitas lebih rendah (20% - 40%) terjadi di Laut Jawa pada pukul 03:00 WIB hingga pukul 16:00 WIB. Kemunculan awan Cb di laut ini lebih lama (± 14 jam) dibandingkan dengan di darat (± 6 jam).

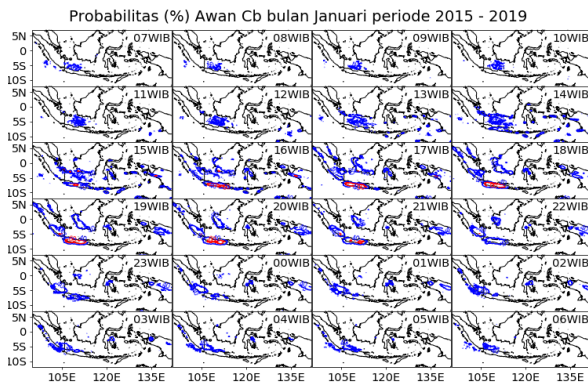
Pada bulan Januari, probabilitas tinggi (>60%) kemunculan awan Cb terjadi di sepanjang Pulau Jawa, Bali, NTB, dan NTT (Gambar 3). Pola dominan ini terjadi pada pukul 16:00 WIB hingga pukul 20:00 WIB. Probabilitas cukup tinggi lainnya terjadi di sepanjang pantai selatan Pulau Kalimantan, dengan

Jumlah Pesawat Tertinggi yang Dilayani Periode 2015 - 2019 di Bandara Soekarno Hatta Cengkareng



Sumber: Hasil analisis, 2021.

Gambar 1. Pesawat tertinggi yang dilayani dan rata-rata pergerakan angkutan udara periode 2015 - 2019 di Bandar Udara Soekarno-Hatta Cengkareng.

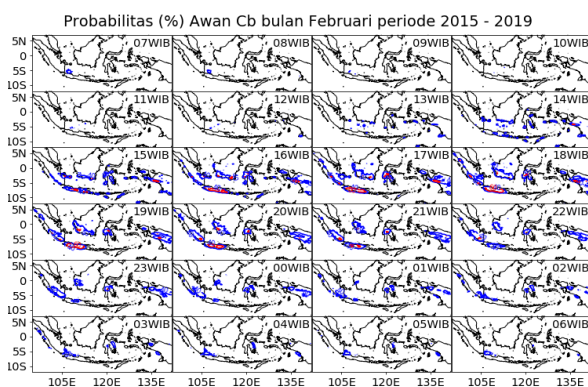


Sumber: Hasil analisis, 2021.

Gambar 3. Probabilitas kemunculan awan Cb pada bulan Januari periode data 2015 - 2019. Warna biru > 40%, warna merah > 60%.

probabilitas sekitar 40% - 50%, juga terjadi pada pukul 16:00 WIB hingga pukul 20:00 WIB. Kemunculan awan Cb dengan probabilitas lebih rendah (20% - 40%) terjadi di Laut Jawa pada pukul 03:00 WIB hingga pukul 14:00 WIB. Kemunculan awan Cb di laut ini lebih lama (± 12 jam) dibandingkan dengan di darat (± 5 jam). Selain itu, luasan wilayah awan Cb tersebut juga lebih luas di laut dibandingkan dengan di darat. Artinya, potensi jalur penerbangan yang melintasi lautan mempunyai bahaya lebih tinggi dibanding di darat pada jam-jam tersebut.

Kondisi awan Cb pada bulan Februari hampir mirip dengan bulan Januari. Probabilitas tinggi (>60%) terjadi di sepanjang Pulau Jawa, Bali, NTB, dan NTT (Gambar 4). Pola dominan ini terjadi pada pukul 16:00 WIB hingga pukul 20:00 WIB. Probabilitas cukup tinggi lainnya terjadi di sepanjang Pantai Selatan Pulau Kalimantan, dengan probabilitas sekitar 40% - 50%, yang juga terjadi pada pukul 16:00 WIB hingga pukul 20:00 WIB. Kemunculan awan Cb dengan probabilitas lebih rendah (20%-40%) terjadi di Laut Jawa pada pukul 03:00 WIB hingga pukul 14:00 WIB. Kemunculan awan Cb di laut ini lebih lama (± 12 jam) dibandingkan dengan di darat (± 5 jam). Selain itu, luasan wilayah awan Cb tersebut juga lebih luas



Sumber: Hasil analisis, 2021.

Gambar 4. Probabilitas kemunculan awan Cb pada bulan Februari periode data 2015 - 2019. Warna biru > 40%, warna merah > 60%.

di laut dibandingkan dengan di darat. Artinya, potensi jalur penerbangan yang melintasi lautan mempunyai bahaya yang lebih tinggi dibanding di darat pada jam-jam tersebut.

3.3. Pembahasan

Banyak manfaat yang dapat diperoleh dengan mengetahui kondisi meteorologi penerbangan, antara lain pengurangan penggunaan bahan bakar dan biaya operasional terkait bahan bakar peningkatan keselamatan dari penggunaan jasa cuaca penerbangan terutama untuk menghindari turbulensi dan angin kencang selama perjalanan en-route, perencanaan penerbangan, pengelolaan bandar udara dan pengurangan dampak lingkungan melalui pengurangan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari kebijakan penggunaan bahan bakar yang dimungkinkan oleh prakiraan cuaca yang lebih baik. Layanan cuaca penerbangan dapat meningkatkan investasi dalam teknologi dan kolaborasi antara pengelola bandar udara dan badan meteorologi guna meningkatkan proses pengamatan dan pelaporan fenomena cuaca ke industri penerbangan [18]. *Air Traffic Services* (ATS) menggunakan rencana penerbangan untuk mengatur pergerakan pesawat dalam layanan manajemen lalu lintas udara, termasuk melacak dan menemukan pesawat yang hilang selama misi pencarian dan penyelamatan (SAR).

Berdasarkan hasil analisis, diketahui bahwa sebaran waktu jam puncak (*peak hours*) pergerakan pesawat udara periode 2015-2019 di Bandar Udara Soekarno-Hatta Cengkareng berada pada rentang pukul 03.00-06.00 WIB dan dilanjutkan pada periode waktu 08.00-10.00 WIB. Pergerakan pesawat akan mengalami penurunan pada pukul 20.00-20.59 WIB.

Jam sibuk tersebut rentan mengakibatkan *delay* atau penundaan akibat cuaca yang buruk pada penerbangan. Pada bagian barat Indonesia seperti Sumatera, dengan karakteristik permukaan yang dipengaruhi oleh orografi atau bukit barisan yang memanjang, awan-awan bahkan dapat tumbuh dengan ukuran skala Meso yang sering disebut sebagai *Mesoscale Convective System* (MCS). Awan-awan ini jauh lebih berbahaya dibandingkan Cb sehingga perlu diwaspadai. Pada musim kemarau di bulan Juni, Juli, dan Agustus (JJA), persentase kemunculan awan Cb sangat kecil, di mana hanya beberapa lokasi yang memiliki persentase 40%-60%. Bulan JJA yang mempunyai potensi bahaya yang rendah dapat dijadikan rujukan untuk menarik perhatian pengguna armada udara yang bertepatan dengan libur anak sekolah. Sementara itu, pada bulan Mei hingga Oktober, sepanjang Pulau Jawa terlihat mempunyai kecenderungan lintasan pesawat yang tidak berbahaya untuk dilintasi.

Hal penting yang perlu disadari bahwa pola dominasi awan Cb dan MCS pada saat musim basah dan musim kemarau sangatlah berbeda. Pada musim kemarau, kondisi atmosfer cenderung cerah dan aman untuk dunia penerbangan. Musim yang perlu diwaspadai oleh transportasi udara adalah saat musim basah di mana pertumbuhan awan Cb dan MCS sangat tinggi dan dapat menimbulkan ketidakstabilan atmosfer. Waktu pertumbuhan awan di atas daratan/pulau juga berbeda dengan di laut. Awan yang tumbuh di darat cenderung terjadi pada waktu setelah insolasi maksimum (± 15.00 WIB) dan terjadi tidak terlalu lama (± 7 jam). Sedangkan awan yang tumbuh di laut cenderung terjadi pada waktu dini hari ($\pm 00.00-03.00$ WIB) dan dapat bergerak ke darat, sehingga waktu hidup awan jenis ini juga cukup lama (>10 jam) dan sangat berbahaya dalam penerbangan. Pengaturan jadwal terbang pesawat juga perlu diperhatikan untuk menghindari adanya pesawat yang terjebak di atmosfer dengan adanya turbulensi yang cenderung mengganggu jalannya pesawat. Pengaturan jadwal ini dilakukan dengan memperhatikan waktu kapan terjadi dominasi awan Cb atau MCS tersebut.

4. Kesimpulan

Bandar Udara Soekarno-Hatta memiliki pola suhu udara dan tekanan udara yang sama dari tahun 2015 s.d 2019. Rata-rata curah hujan tertinggi (periode 3 jam) dari tahun 2015 s.d 2019 terjadi pada bulan Februari. Wilayah-wilayah yang berpotensi mengalami *delay* dikarenakan faktor cuaca yang buruk terdapat pada bagian barat Indonesia seperti Sumatera pada jam 12.00-13.00 dan pukul 15.00-16.00. Probabilitas tinggi (60%) pembentukan awan Cb diprediksi terjadi di sepanjang Pulau Jawa (+bagian Barat), Bali, NTB, NTT, sepanjang barat Sumatera (+bagian Utara), dan sepanjang pantai Selatan Pulau Kalimantan dengan kisaran waktu pukul 14.00-20.00. Probabilitas sedang (40%-50%) pembentukan awan Cb diprediksi di sepanjang pantai selatan Pulau Kalimantan dengan kisaran waktu pukul 16.00-20.00. Probabilitas rendah (20%-40%) pembentukan awan Cb diprediksi di Laut Jawa dengan kisaran waktu 03.00-14.00. Probabilitas jauh lebih rendah ($<20\%$) pembentukan awan Cb diprediksi tidak hanya di Laut Jawa saja, tapi juga di perairan lain di sekitar pulau-pulau di Indonesia. Probabilitas sangat rendah ($<5\%$) pembentukan awan Cb diprediksi di Lampung, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Pulau Jawa, Bali, NTB, NTT, Laut Jawa hingga Laut Flores dan Samudera Hindia bagian selatan, dan Laut Timor hingga Laut Arafura.

Kolaborasi dalam pemanfaatan data cuaca bagi perancangan jalur penerbangan antara AirNav Indonesia dan BMKG diperlukan dalam melakukan tinjau ulang alur penerbangan dengan menyesuaikan

kondisi cuaca sepanjang jalur penerbangan. Dalam peningkatan pelayanan meteorologi, data cuaca musiman perlu disediakan untuk perancangan jalur penerbangan (keberadaan awan Cb, turbulensi, dll.).

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih pada Kepala Pusat Litbang Perhubungan Udara melalui DIPA sehingga penelitian ini dapat terlaksana, Kepala Kantor Cabang JATSC Perum LPPNPI Kantor Cabang Utama JATSC Bandar Udara Soekarno-Hatta, Kepala Stasiun Meteorologi Penerbangan di Bandar Udara Soekarno-Hatta, Bapak Wisnu Karya Sanjaya, Bapak Muji Subagyo, Bapak Hermawan, dan Bapak Hasan Bashori yang telah memberikan bimbingan dalam proses penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] SKYbrary Aviation Safety, "Cumulonimbus," *Skybrary*, 2015. <https://www.skybrary.aero/about-skybrary>
- [2] ICAO, *Meteorological Service for International Air Navigation*, 19th ed. ICAO Annex, 2010 [Online]. Available: <https://www.icao.int/airnavigation/IMP/Documents/Annex%203%20-%2075.pdf>.
- [3] R. G. Bass, "Ground Delays from Lightning Ramp Closures and Decision Uncertainties," *Air Traffic Control Q.*, pp. 1–26, 2014.
- [4] Pemerintah Republik Indonesia, *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan*. Jakarta, Indonesia, 2009. [Online]. Available: https://www.dpr.go.id/dokjdi/document/uu/UU_2009_1.pdf
- [5] ICAO Annex 11, "Air Traffic Services, fourteenth Edition," 2016.
- [6] Kementerian Perhubungan, "Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor PM 55 tahun 2016 tentang tatanan Navigasi Penerbangan Nasional terkait Rencana PBN Domestik," Jakarta, 2016.
- [7] A. N. Agustina and O. F. Rama, "Meningkatkan Layanan Navigasi Udara dengan Menggunakan Performance Based Navigation (PBN).," *J. Manaj. Dirgant.*, vol. 14, no. 1, 2021, <https://jurnal.sttkd.ac.id/index.php/jmd/article/view/251>.
- [8] N. A. Fitri and I. Taufiq, "Perbandingan JST Metode Backpropagation dan Metode Radial Basis dalam Memprediksi Curah Hujan Harian Bandara Internasional Minangkabau," *J. Fis. Unand*, vol. 9, no. 2, pp. 217–223, Nov. 2020, doi: 10.25077/jfu.9.2.217-223.2020.
- [9] L. N. Storer, P. D. Williams, and M. M. Joshi, "Global Response of Clear-Air Turbulence to Climate Change," *Geophys. Res. Lett.*, vol. 44, no. 19, pp. 9976–9984, Oct. 2017, doi: 10.1002/2017GL074618.
- [10] K. Brown and P. Buchanan, "An objective verification system for thunderstorm risk forecasts," *Meteorol. Appl.*, vol. 26, no. 1, pp. 140–152, Jan. 2019, doi: 10.1002/met.1748.
- [11] A. Putri, Y. Syafrialdi, and Mustakim, "Analisa Pengaruh Temperatur Terhadap Titik Embun, Jarak Pandang, Kecepatan Angin, dan Curah Hujan Metode

- Regresi Linier Berganda," *Semin. Nas. Teknol. Informasi, Komun. dan Ind.*, pp. 227–234, 2017.
- [12] M. Fachry, "Analisis kondisi cuaca saat terjadinya kecelakaan pesawat airasia QZ8501 menggunakan model WRF- ARW," *Meteorol. Klimatologi Dan Geofis.*, 2014.
- [13] Wikipedia, "Daftar kecelakaan dan insiden pesawat penumpang di Indonesia," *Wikipedia*, 2015. https://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_kecelakaan_dan_insiden_pesawat_penumpang_di_Indonesia
- [14] KNKT, "Aircraft Accident Investigation Report Etihad Airways Airbus A330 -243," Jakarta, 2016.
- [15] Ilham, "Hong Kong Airlines Turbulensi, 17 Penumpang Luka," *Republika*, 2016, <https://news.republika.co.id/berita/o6s72x361/hong-kong-airlines-turbulensi-17-penumpang-luka>.
- [16] Taher Saleh, "Baru Terbang 30 Menit, Lion Air Balik Lagi ke Makassar," *CBNC Indonesia*, 2019. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190213155329-4-55332/baru-terbang-30-menit-lion-air-balik-lagi-ke-makassar%0A>
- [17] Badan Pusat Statistik, "Statistik Angkutan Udara Tahun 2021," Jakarta, 2021, <https://www.bps.go.id/publication/2022/11/28/47c9ec2bb8efa3beaa4d56dc/statistik-transportasi-udara-2021.html>.
- [18] K. A. Anaman, R. Quaye, and B. Owusu-Brown, "Benefits of Aviation Weather Services: A Review of International Literature," *Res. World Econ.*, vol. 8, no. 1, p. 45, Apr. 2017, doi: 10.5430/rwe.v8n1p45.

Halaman ini sengaja dikosongkan