

Perubahan Lingkungan dan Strategi Adaptasi Dampak Perubahan iklim di Bandar Udara Hasanuddin, Makassar

Environmental Change and Adaptation Strategies to Climate Change Impact at Hasanuddin Airport, Makassar

ROBERTUS HARYOTO INDRIATMOKO DAN WAHYU PURWANTA

Pusat Teknologi Lingkungan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Gedung Geostek 820, Kawasan Puspiptek, Serpong, Tangerang Selatan 15314
robertus.haryoto@bppt.go.id

ABSTRACT

One of the development sectors in Indonesia that is impacted by climate change is the air transport sector. Consequently, airports in Indonesia since now must have been preparing appropriate adaptation strategies for climate change impacts. Hasanuddin Airport has potentially been affected by climate change which has been indicated by rising surface temperature, air humidity and rainfall in the last ten years. From the concentration data of some pollutant gases (non-GHGs), it indicates that air pollution is not the primary threat to the Hasanuddin Airport of Makassar. But the imminent threat is the change of meteorological parameters such as surface temperature, humidity and rainfall intensity. Based on monitoring data by the airport authority in a 10-year period from 2004 to 2013, there has been a rise in average surface temperature of 1°C. The increase in surface temperature is also followed by increasing humidity at the same time span of 5%. Change in three components of climate will have an impact on the aviation system with respect to the climate change phenomenon. Through analysis of the risks and opportunities for each component of climate change, will be determined negative impacts and positive impacts of weather and climate phenomena. The main threat of climate change impacts at Hasanuddin airport is flooding, drought, increased energy needs, destruction of infrastructures such as runways, taxiways and aprons as well as disruption of flight operations due to extreme weather. The appropriate adaptation strategies for Hasanuddin airport among others are increase in the drainage system performance, increase in recharge wells, implementation of energy efficiency, use of renewable energy, implementation of eco-office and increase in efficiency of processes and working procedures for passenger service at the airport.

Keyword : airport, adaptation, climate change

ABSTRAK

Salah satu sektor pembangunan di Indonesia yang tidak bebas dari ancaman perubahan iklim adalah sektor transportasi udara. Oleh karena, perlu disiapkan strategi adaptasi dampak perubahan iklim. Bandara Hasanuddin Makassar berpotensi terkena dampak peningkatan suhu permukaan, kelembaban udara dan curah hujan dalam sepuluh tahun terakhir. Jika melihat data emisi gas polutan (non-GRK) terlihat bahwa polusi udara belum menjadi ancaman nyata. Namun ancaman yang akan segera dialami adalah berubahnya beberapa parameter meteorologis seperti suhu permukaan, kelembaban dan intensitas curah hujan. Berdasarkan data pemantauan oleh otoritas bandara memperlihatkan untuk rentang waktu 10 tahun sejak 2003 hingga 2013, telah terjadi kenaikan suhu permukaan rata-rata sebesar 1°C. Kenaikan suhu permukaan ini juga diikuti kenaikan kelembaban pada rentang waktu yang sama sebesar 5%. Perubahan ketiga komponen iklim ini akan memberi dampak pada sistem penerbangan sehubungan dengan fenomena perubahan iklim. Melalui analisis risiko dan peluang untuk tiap perubahan komponen iklim, akan dapat ditentukan dampak negatif dan dampak positif dari suatu fenomena cuaca dan iklim. Ancaman utama atau dampak negatif perubahan iklim bagi bandara Hasanuddin adalah potensi banjir, kekeringan, kebutuhan energi yang meningkat, rusaknya infrastruktur seperti runway, taxiway dan apron serta terganggunya operasional penerbangan akibat cuaca ekstrim. Strategi adaptasi yang tepat untuk bandara Hasanuddin antara lain dengan peningkatan kinerja sistem drainase, sumur resapan, penerapan efisiensi energi dan penggunaan energi ramah lingkungan, penerapan eco-office serta efisiensi proses dan prosedur kerja dalam pelayanan penumpang di bandara.

Kata kunci : bandar udara, adaptasi, perubahan iklim

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peran angkutan pesawat udara di bidang transportasi untuk layanan pengangkutan orang maupun barang melalui jalur udara dapat memberi nilai tambah berupa efisiensi waktu dan kecepatan yang lebih baik dibandingkan moda transportasi lainnya⁽¹⁾. Apalagi bagi Indonesia yang terdiri atas ribuan pulau, maka peran transportasi udara sebagai penghubung antar wilayah menjadi sangat vital. Dengan adanya faktor kecepatan tersebut mampu menekan biaya produksi, mobilitas orang dan pengiriman barang dan jasa akan menjadi lebih cepat dan efektif. Perkembangan pesat transportasi udara dicirikan dengan meningkatnya *air traffic* antar bandar udara di Indonesia. Walaupun demikian selain sisi positif tersebut, di sisi lain transportasi udara ini juga menghasilkan emisi gas rumah kaca (GRK) yang ditengarai menyebabkan pemanasan global⁽²⁾.

Polutan yang dihasilkan dari mesin-mesin pesawat udara (*exhaust gas pollution*) perlu diperhatikan dampak buruknya terhadap lingkungan, meskipun hanya menyumbang sekitar 3% dari total emisi GRK dunia tapi dengan banyaknya pesawat udara komersial yang beroperasi yang semakin meningkat, maka angka persentase emisi tersebut diprediksi akan terus meningkat pula⁽³⁾. Bangkitan emisi GRK global inilah yang diduga sebagai pemicu terjadinya efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim. Oleh para ahli UNEP, perubahan iklim merupakan persoalan lingkungan hidup paling serius di abad 21 ini

Dampak perubahan iklim yang menjadi ancaman besar apabila dikaitkan dengan kondisi geografis Indonesia adalah naiknya permukaan air laut (*sea level rise*) dan ancaman terhadap tenggelamnya pulau-pulau dan wilayah pesisir⁽⁴⁾. Selain itu naiknya muka laut juga menyebabkan bermigrasinya permukiman nelayan dari tepi pantai semula menjadi lebih ke hulu dan akan membawa dampak sosial. Guna mengantisipasi ancaman dan dampak perubahan iklim sekaligus mengurangi tingkat kerentanan, diperlukan kebijakan dan strategi guna mengantisipasi potensi ancaman dan sebagai bentuk rencana adaptasi dampak yang ditimbulkan oleh perubahan iklim. Kebijakan antisipasi tersebut bisa direfleksikan dalam bentuk rencana aksi adaptasi perubahan iklim. Pada tataran aksi inilah akan sangat diperlukan kemampuan adaptasi sebagai fungsi dari sosial ekonomi, infrastruktur dan juga teknologi.

Adaptasi perubahan iklim merupakan upaya mengurangi kerentanan atas bahaya sekaligus

meningkatkan kapasitas pada seluruh komponen dari aset penghidupan (*sustainable livelihood/pentagon asset*); *human, social, physic, nature and finance*). Artinya upaya adaptasi adalah upaya komprehensif dan tidak parsial pada satu bidang masalah. Adapun dari sudut kapasitas adaptasi, terfokus pada tiga komponen utama; *preparedness* (kesiapsiagaan), *participatory* (partisipasi) maupun kebijakan (*policy*), termasuk kelembagaan yang lebih tangguh dalam menghadapi ancaman bencana yang meningkat akibat perubahan iklim⁽⁵⁾. Terlihat bahwa masalah kapasitas adaptasi tidak hanya pada faktor teknis semata tetapi juga masalah kebijakan dan perangkat legal lainnya. Salah satu sektor pembangunan di Indonesia yang juga tidak terlepas dari ancaman perubahan iklim adalah sektor transportasi udara. Berbagai sarana transportasi udara berpotensi membuang langsung sisa pembakaran bahan bakar pesawat ke atmosfer secara kontinyu.

Lembaga analisis kuantitatif dan ekonomi terkemuka *Oxford Economic* menyatakan bahwa pertumbuhan ekonomi dan kemakmuran masa depan dunia tergantung pada pertumbuhan industri penerbangan. Hal itu tertuang dalam laporannya yang berjudul "*Aviation The Real World Wide Web*" mengenai pengaruh ekonomi dan sosial yang ditimbulkan oleh industri penerbangan⁽⁶⁾. Di Indonesia angkutan udara menempati urutan keempat dengan PDB tahun 2002 sebesar Rp 5,923 triliun, meningkat menjadi Rp 14,685 triliun tahun 2006, dan diproyeksikan menjadi Rp 62,214 triliun tahun 2016⁽⁷⁾.

Hal ini membawa konsekuensi bahwa bandara-bandara di Indonesia sejak sekarang harus menyiapkan strategi adaptasi yang tepat akibat dampak perubahan iklim. Ini disebabkan aktivitas penerbangan sangat berkaitan erat dengan keadaan cuaca dan iklim. Kondisi cuaca dan iklim baik jangka pendek maupun jangka panjang akan sangat mempengaruhi kelancaran operasional penerbangan dan kualitas layanan penerbangan. Bandara Hasanuddin Makassar sebagai salah satu bandara yang padat lalu lintas udaranya serta gerbang ke wilayah timur Indonesia memiliki nilai strategis serta menuntut pemantauan kualitas lingkungan yang seksama terkait perubahan iklim. Bandara Hasanuddin termasuk bandara dengan tingkat pertumbuhan penumpang dan layanan penerbangan yang meningkat pesat. Kajian ini membahas hasil pemantauan kualitas lingkungan khususnya kualitas udara dikaitkan dengan pola perubahan parameter iklim serta strategi adaptasi dampaknya di masa datang. Hasil kajian penting sebagai

acuan antisipasi serta kebijakan bandara di masa datang.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan melakukan pengumpulan data, membuat analisis, menghitung besaran emisi gas buang dan GRK serta mengidentifikasi permasalahan yang timbul akibat perubahan iklim dan menyusun strategi adaptasi dampaknya di Bandara Hasanuddin Makassar baik dari segi sarana, prasarana serta operasional penerbangan.

2. BAHAN DAN METODE

Kajian ini menggunakan pendekatan deskriptif eksploratif yaitu dengan cara mengumpulkan data-data yang cukup dari hasil pengamatan lapangan dan data dari dokumen resmi yang kemudian dianalisis dengan menggunakan suatu metoda statistik dan analisis risiko peluang untuk penyusunan strategi adaptasi yang diperlukan sebagai hasil akhir penelitian⁽⁸⁾. Analisis data dimaksudkan untuk mendapatkan kondisi rona lingkungan baik fisik, klimatologis maupun ekosistem/ lingkungan di bandara Hasanuddin saat ini serta kondisi hipotetis ke depan dikaitkan dengan model skenario adaptasi perubahan iklim yang terjadi. Hasil prakiraan ke depan menjadi dasar dalam penyusunan strategi adaptasi dampak perubahan iklim

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Lingkungan Bandara

Bandar udara Hasanuddin terletak 30 km dari Kota Makassar, provinsi Sulawesi Selatan. Bandara ini berada pada ketinggian 14,33 m di atas permukaan laut (MSL) / 47,00 ft dan pada koordinat 05° 03' 30,88" LS (S) / 119° 32' 46,58" BT (E). Mempunyai dua landasan pacu yang pertama sepanjang 3.100 m x 45 m, dan yang kedua 2.500 m x 45 m, dioperasikan oleh PT. Angkasa Pura I(9). Kelembaban udara rata-rata berkisar 88% hingga 91% dengan kecepatan angin 24 hingga 36 knot(10). Data dari otoritas bandara didapati bahwa suhu rata-rata rendah terjadi antara bulan Desember-Januari sedangkan suhu tinggi terjadi pada bulan Mei-Juni. Tabel 1 memperlihatkan pola suhu dan kelembaban sejak tahun 2004 hingga 2013.

Tabel 1. Suhu dan Kelembaban Udara di Bandara Hasanuddin

Tahun	Suhu (°C)		Kelembaban (%)
	Maret	Oktober	
2004	30,4	33,9	79
2005	31,5	33,6	78
2006	31,5	35,4	78
2007	31,7	34,1	81
2008	31,6	34,7	82
2009	32,1	34,8	81
2010	32,5	32,0	87
2011	30,8	33,8	82
2012	30,9	35,4	84
2013	31,6	34,1	84

Sumber: Pratiwi (2014)⁽¹¹⁾

Pengukuran tingkat kebisingan di bandara dan sekitarnya menunjukkan beberapa lokasi berada di atas baku mutu yang diatur dalam Keputusan Menteri Lingkungan Hidup no. KEP-48/11/1996. Beberapa titik pengukuran berada di atas ambang baku mutu yang ditetapkan. Lokasi yang telah berada di atas ambang baku mutu antara lain di Perum API, Grha Rio Asri serta dekat parkir bandara. Lokasi tersebut merupakan titik-titik yang terdampak akibat naik dan turunnya pesawat terbang. Sumber utama kebisingan sudah dapat dipastikan adalah aktivitas *landing* dan *take off* pesawat terbang⁽¹²⁾. Adapun lokasi bandara lama termasuk yang tidak terdampak kebisingan aktivitas keseharian pesawat. Bandara Hasanuddin telah mengalami pengembangan pada runway sehingga aktivitas paling tinggi ada di runway baru hasil pengembangan. Pengaruh kebisingan adalah pada tingkat kualitas pendengaran manusia dan kadang juga makhluk hidup lainnya. Mitigasi terhadap kebisingan antara lain dapat dilakukan dengan menempatkan material-material penyerap getaran suara atau penanaman pohon tertentu guna mengurangi dampak kebisingan pada lingkungan sekitarnya. Belum banyak penelitian terkait material peredam kebisingan ini khususnya yang diterapkan di bandara. Tabel 2 memperlihatkan tingkat kebisingan beserta ambang batas baku mutu di bandara dan beberapa lokasi sekitarnya.

Tabel 2. Tingkat Kebisingan di lokasi sekitar Bandara Hasanuddin

Lokasi	Tingkat kebisingan (dB)	
	Pengukuran	Baku Mutu ¹⁾
ATKP Maros	50,5	70
Perum AP I	95,9	70
Bandara lama	66,7	70
Grha Rio Asri	95,9	70
Parkir bandara	95,9	70
Apron (B19)	80,6	86

¹⁾ Kepmen LH No.48/11/1996

Sumber: Data primer tahun 2014

Sedangkan pengukuran beberapa parameter kualitas udara sebagai bagian dari program pemantauan rutin kualitas lingkungan diperlihatkan dalam Tabel 3. Pelaksanaan pemantauan dilakukan tahun 2014 merupakan. Pengukuran yang dilakukan sepanjang tahun 2014 tersebut memperlihatkan semua parameter uji berada di bawah ambang batas baku mutu. Parameter uji SO₂, NO₂, O₃, CO, Pb dan TSP pada dasarnya adalah gas polutan non-GRK. Ini menandakan bahwa kawasan bandara Hasanuddin memang jauh dari kawasan perkotaan atau industri sehingga hanya kecil pengaruh polutan yang berasal dari aktivitas kebandaraan termasuk transportasi darat. Hal ini dimungkinkan karena lokasi bandara sendiri memang jauh dari perkotaan sehingga efek emisi dalam dispersi menghasilkan konsentrasi yang masih di bawah baku mutu yang ditetapkan. Seluruh parameter tersebut diuji untuk pengukuran selama 1 jam kecuali Pb dan TSP selama 24 jam untuk mendapatkan angka konsentrasi yang signifikan. Hasil keseluruhan pengukuran parameter uji ditampilkan dalam Tabel 3. Pengukuran tingkat kebisingan maupun beberapa parameter kualitas udara dilakukan saat monitoring rutin tahun 2014 sehingga hanya sebagai gambaran kondisi lingkungan bandara. Tidak didapati data pengukuran yang kontinyu untuk beberapa tahun.

Tabel 3. Uji Kualitas Udara (pengukuran 1 jam) di Area Bandara Hasanuddin

Parameter Uji	Kualitas (µg/Nm ³)	
	Pengukuran	Baku mutu ¹⁾
SO ₂	10,126	900
NO ₂	8,428	400
O ₃	12,195	235
CO	21,417	30.000
Pb ^{**)}	0,048	2
TSP ^{**)}	21,573	230

¹⁾ PP No. 41/1999

^{**)} pengukuran 24 jam

Sumber: Data primer tahun 2014

3.2 Ancaman Dampak Perubahan Iklim

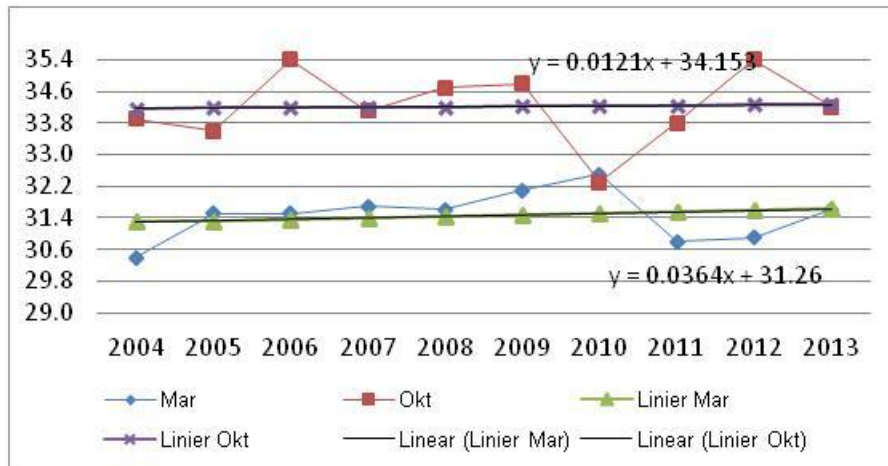
Jika melihat data emisi gas polutan, ancaman polusi udara belum menjadi ancaman nyata bagi bandara Hasanuddin. Namun ancaman yang akan segera dialami adalah berubahnya beberapa parameter meteorologis seperti suhu permukaan, kelembaban dan curah hujan. Perubahan ketiga parameter ini akan berdampak pada dunia penerbangan sehubungan dengan fenomena perubahan iklim⁽¹³⁾. Gas buang dari pesawat udara seperti karbon dioksida (CO₂), nitrogen oksida (NO_x) dan karbon monoksida (CO) ditengarai mempengaruhi kondisi iklim melalui efek rumah kaca. Polutan yang dihasilkan dari mesin-mesin pesawat udara (*exhaust gas*) perlu diperhatikan dampak buruknya terhadap lingkungan, meskipun hanya menyumbang sekitar 3% dari total emisi udara dunia tapi dengan banyaknya pesawat udara komersial yang beroperasi dari hari ke hari semakin meningkat, maka angka persentase emisi tersebut diprediksi akan terus meningkat⁽¹⁴⁾. Memang apa yang dihasilkan dari emisi GRK akibat aktivitas di bandara Hasanuddin sendiri akan langsung berdampak pada kondisi cuaca dan iklim setempat. Bisa jadi perubahan komponen iklim di wilayah bandara juga akibat interaksi berbagai faktor termasuk aktivitas di luar kebandaraan.

Hasil kajian Puslitbang Kementerian Perhubungan tahun 2013 tentang profil emisi gas buang memperlihatkan bahwa bandar udara Hasanuddin menempati posisi ke tiga setelah Soekarno-Hatta dan Djuanda dalam hal total emisi gas buang dari pesawat yang beroperasi. Dalam setahun, total *flight* yang ada di bandara Hasanuddin telah membakar bahan bakar (*fuel burned*) sebesar 148.292 ton, dengan perkiraan emisi CO₂ sebesar 467.092 ton, NO_x sebesar 1.922 ton dan CO sebanyak 497 ton⁽¹⁵⁾. Angka ini diproyeksikan akan naik karena bisa dipastikan terjadi kenaikan jumlah penumpang rata-rata 6,5% per tahun untuk Indonesia. Berdasar persamaan proyektif, diperkirakan emisi gas buang pesawat udara kondisi *landing and take off* (LTO) periode tahun 2020 mengalami peningkatan pada pemakaian bahan bakar dan produksi CO₂ sebesar 1,53 kali dari tahun 2010 sedangkan NO_x naik 1,73 kali. Sedangkan emisi gas buang pesawat udara kondisi *flight* total pada periode tahun 2020 mengalami peningkatan untuk produksi CO₂ dan untuk pemakaian bahan bakar sebesar 1,54 kali jika dibandingkan tahun 2012, kemudian NO_x naik 1,68 kali⁽¹⁶⁾.

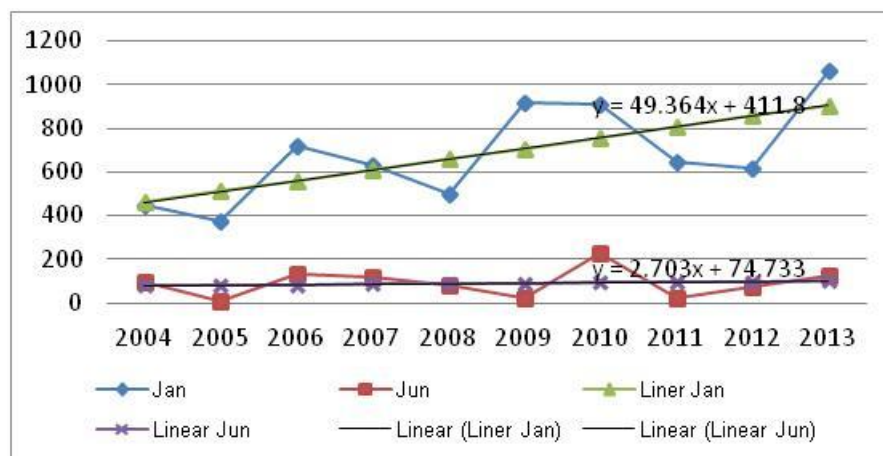
Dampak dari besaran serta peningkatan emisi gas buang yang termasuk GRK adalah pada angka-angka parameter meteorologis seperti suhu permukaan, kelembaban dan curah hujan yang

juga teramati meningkat selama beberapa tahun. Ini nampak wajar mengingat GRK diduga sebagai penyebab tertahannya panas yang harusnya terbuang ke angkasa. Berdasarkan pengolahan data yang diperoleh dari otoritas bandara memperlihatkan bahwa untuk rentang waktu 10 tahun sejak 2004, telah terjadi kenaikan suhu permukaan rata-rata sebesar 1°C. Kenaikan suhu permukaan ini juga diikuti kenaikan kelembaban udara pada rentang waktu yang sama sebesar 5% (lihat Tabel 1). Peningkatan suhu permukaan disepanjang tahun 2004 hingga 2013 diperlihatkan dalam Gambar 1. Pengamatan yang dilakukan untuk data suhu bulan Maret dan Oktober menunjukkan keduanya memperlihatkan tren yang naik. Ini juga dikonfirmasi bahwa bulan Maret adalah awal musim kemarau dan Oktober adalah akhir atau permulaan musim penghujan. Suhu permukaan rata-rata tahunan pada bulan Oktober

lebih tinggi dibanding pada bulan Maret. Sementara dari data seri curah hujan rata-rata setahun juga diperoleh pola peningkatan dengan mengambil bulan Januari dan Juni. Curah hujan bulan Januari secara umum lebih tinggi dibanding bulan Juni, namun dari hasil ekstrapolasi juga terlihat bahwa kenaikan curah hujan selama 2004 hingga 2013 untuk bulan Januari terlihat lebih tajam atau berarti terjadi kenaikan intensitas yang signifikan. Bulan Januari kebetulan secara periode waktu juga termasuk musim penghujan. Kenaikan suhu akan mempercepat proses penguapan sehingga terbentuknya awan yang secara tidak langsung juga memerangkap panas, sehingga meningkatkan suhu atmosfer. Pola kenaikan curah hujan diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 1. Pola kenaikan suhu permukaan (°C) Bandara Hasanuddin, 2004-2013⁽¹⁷⁾



Gambar 2. Pola kenaikan curah hujan (mm) Bandara Hasanuddin, 2004-2013⁽¹⁷⁾

Jika melihat adanya data peningkatan suhu permukaan, kelembaban dan curah hujan, maka perubahan iklim memang telah terjadi baik pada tataran global maupun pada tingkat lokal. Data peningkatan suhu lokal kawasan yang terpantau menunjukkan pola peningkatan yang konsisten. Secara prakiraan ancaman perubahan iklim akan terjadi dalam wujud kenaikan suhu yang berakibat pada kebutuhan energi untuk pendingin ruangan. Pendinginan ini diperlukan baik di perkantoran bandara maupun terminal penumpang. Sedangkan kekeringan akan berakibat kelangkaan air, sedangkan tingginya curah hujan berakibat meningkatnya potensi banjir. Kelangkaan air akan menyebabkan pihak bandara harus dapat mencari alternatif dalam penyediaan air bersih baik untuk keperluan perkantoran maupun terminal penumpang serta kebutuhan operasional pesawat.

Kenaikan suhu permukaan membawa risiko pada daya tahan konstruksi *runway*, *taxiway* dan *apron*, seperti terjadinya *runway buckling*⁽¹⁸⁾. Banyak bandara di dunia saat ini mengalami masalah dengan kerusakan konstruksi akibat peningkatan suhu yang ekstrem. Kenaikan suhu juga membawa ketidaknyamanan perkantoran dan terminal penumpang sehingga berisiko meningkatkan energi untuk pendingin udara (AC). Peluang yang ada dengan dampak ini adalah pemanfaatan material yang tahan panas dan juga penggunaan energi alternatif. Dari sisi operasi penerbangan, kenaikan suhu juga berisiko pada menurunnya kinerja mesin pesawat (*lift off load limit*), waktu *take off* lebih lama serta peningkatan suhu kabin pesawat⁽¹⁹⁾.

Peningkatan curah hujan secara umum meningkatkan risiko banjir dan genangan yang mengganggu *runway*, *taxiway*, *apron* dan jalan akses ke bandara. Bagi operasional penerbangan, meningkatnya curah hujan berarti berisiko pada meningkatnya penundaan atau pembatalan terbang (*delay/cancel flight*) sehingga merugikan maskapai dan pengelola bandara Hasanuddin⁽²⁰⁾. Meningkatnya curah hujan juga berarti meningkatnya pengoperasian pesawat saat cuaca buruk, sehingga terjadi risiko tubulensi yang berdampak pada *flutter* dan *fatigue* struktur pesawat. Peluang yang ada dengan peningkatan curah hujan ini antara lain menurunnya suhu lingkungan dan juga menurunnya konsentrasi GRK karbon dioksida di lingkungan bandara Hasanuddin.

Peningkatan curah hujan juga berpotensi bagi terjadinya kekeringan ekstrem di satu periode tertentu. Kekeringan berdampak pada kelangkaan ketersediaan cadangan air sebagai utilitas bandara. Sebaliknya penurunan curah hujan ini

berpeluang bagi peningkatan jarak pandang (*visibility*) di jalur penerbangan. Secara umum peningkatan suhu dan kelembaban juga berpotensi bagi terjadinya cuaca ekstrem yang dapat mengganggu operasional penerbangan termasuk risiko terjadinya kecelakaan. Setiap perubahan komponen iklim akan membawa dampak negatif dan positif atau sering digambarkan sebagai risiko dan peluang akibat perubahan iklim. Analisis risiko dan peluang setiap perubahan komponen iklim dilakukan dengan membuat matrik baik untuk dampak pada sarana dan prasarana penerbangan serta operasional maskapai penerbangan. Analisis ini merupakan bagian dari metodologi dalam penyusunan strategi adaptasi perubahan iklim oleh otoritas bandar udara.

3.3 Strategi Adaptasi Dampak Perubahan Iklim

Dari hasil identifikasi komponen iklim yang berubah serta analisis risiko dan peluang, maka dapat dilakukan penyusunan strategi adaptasi dampak perubahan iklim untuk bandara Hasanuddin yang juga sudah dikonfirmasi melalui wawancara dengan otoritas bandara. Wawancara dilakukan dengan berbagai level manajemen bandara sekaligus untuk mengukur tingkat pemahaman personal bandar udara terhadap isu perubahan iklim. Adapun dari studi ini dapat disusun beberapa butir strategi adaptasi sebagai berikut;

- a. Peningkatan perawatan dan sistem pengawasan drainase di lingkungan bandara terkait kapasitas dan waktu aliran permukaan (*run off*) air hujan.
- b. Pembuatan sistem resapan air dan kolam penampung air hujan di sekitar landasan dan lingkungan bandara.
- c. Penanaman pohon di sekitar bangunan perkantoran untuk menstabilkan suhu permukaan.
- d. Penggunaan panel surya sebagai substitusi kebutuhan listrik PLN untuk penerangan dan pendingin ruangan.
- e. Efisiensi pengaturan waktu *check in*, masuk ruang tunggu, dan *boarding* untuk mengurangi jumlah penumpang dalam satu ruangan di waktu yang lama yang berdampak pada penambahan beban AC dan energi.
- f. Penggunaan refrigerator dengan sistem *solar thermal cooling*.
- g. Menerapkan *eco-office* pada bangunan perkantoran di bandara dengan tata letak yang efisien.
- h. Sosialisasi dan peningkatan kapasitas personal bandar udara yang terus menerus sebagai

betook kesiapan kelembagaan dan peningkatan kepedulian terhadap isu perubahan iklim.

4. KESIMPULAN

Perubahan iklim sangat berdampak pada sektor transportasi udara baik pada sarana, prasarana dan operasional penerbangan. Bandara Hasanuddin berpotensi terkena dampak perubahan iklim yang diindikasikan meningkatnya suhu permukaan, kelembaban udara dan curah hujan dalam sepuluh tahun terakhir. Ancaman utama dampak perubahan iklim bagi bandara Hasanuddin adalah potensi banjir dan juga kekeringan, kebutuhan energi yang meningkat serta rusaknya infrastruktur kebandaraan serta terganggunya operasional penerbangan. Strategi adaptasi yang tepat untuk bandara Hasanuddin antara lain dengan peningkatan sistem drainase, pembuatan sumur resapan, penerapan efisiensi energi dan penggunaan energi ramah lingkungan, penerapan *eco-office* serta efisiensi proses dan prosedur kerja dalam pelayanan penumpang di bandara. Selain itu penanaman pohon di area bandara juga dapat menurunkan suhu serta menyerap karbon dioksida. Faktor lain yang juga tidak kalah penting adalah upaya adaptasi dengan peningkatan kapasitas personil bandara dalam mengantisipasi serta menjalankan semua program adaptasi perubahan iklim.

PERSANTUNAN

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada pihak Badan Penelitian dan Pengembangan (Balitbang) Kementerian Perhubungan dan otoritas bandara Hasanuddin, Balitbang BMKG Pusat serta secara khusus Prof. Dr. Edvin Aldrian, yang telah membantu selama pengumpulan dan pengukuran serta analisis data penelitian sehingga tersusunnya tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonijm (2012) Statistik Angkutan Udara tahun 2000-2012., Direktorat Jendral Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan
2. DEFRA & Global Atmosphere Division, (2004), *Revision to Method of estimating Emission from Aircraft in the UK Greenhouse Gas Inventory*
3. ICAO, (2011), Airport Air Quality Manual First Edition Doc. 9889 - Engine Exhaust Emission Data Bank
4. Diposaptono, S., Budiman, dan F. Agung, (2009), *Menyiasati Perubahan Iklim Di Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil*, Bogor, PT. Sarana Komunitas Utama.
5. KLH, GTZ dan WWF, (2007), *Kajian Risiko dan Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat. Sektor Pesisir dan Lau*, Technical Document.
6. PRAKARSA,(2012), *Infrastruktur Penerbangan :Tinjauan ke Masa Depan*, Edisi 9, Januari 2012.
7. Anonim, (2013), Bank Mandiri,Industry Update: Vo.23 December 2013.
8. Creswell, J., (2003), *Research design – Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*, 2nd, SAGE Publication, Inc, California
9. Internet dalam <http://bandaraonline.com/airport/profil-bandara-internasional-sultan-hasanuddin> (dilihat 12 Agustus 2016)
10. BMKG, (2004), Buletin Cuaca-November 2014
11. Pratiwi, D., (2014), *Prediksi Terbentuknya Awan Cumulonimbus (Cb) Di Bandara Internasional Sultan Hasanuddin Makassar*, Skripsi. Program Studi Geofiska, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Hasanuddin.
12. Anonim, (2013), *Evaluasi Kebijakan Eco-Airport Dalam Mendukung Rencana Aksi Nasional Gas Rumah Kaca (RAN-GRK)*, Laporan Akhir, Pusat Kajian Kemitraan dan Pelayanan Jasa Transportasi, Jakarta Kementerian Perhubungan
13. Fadholi, A., (2013), *Analisis Komponen Angin Landas Pacu (Runway) Bandara Depati Amir Pangkal Pinang*. Statistika, Vol.13, No.2, November 2013.
14. Sen, O., (1997), *The effect of aircraft engine exhaust gases on the environment*, International Journal of Environment and Pollution 8(1):148-157.
15. Purwanta, W., (2015), *Profil Emisi Gas Buang dari Pesawat Udara di Sejumlah Bandara di Indonesia*, J. Tek. Ling. Vol.16, No.1: 21-26
16. Purwanta, W., (2014), *Analisis Resiko Dan Peluang Dalam Penyusunan Rencana Adaptasi Perubahan Iklim Kasus: Sektor Transportasi Udara*, J.Tek. Ling. Vol.15, No.2: 91-98.

17. Purwanta, W., (2016), Penyusunan Strategi Adaptasi Dampak Perubahan Iklim Bidang Transportasi Udara, Jakarta, BPPT Press.
18. Cochran, I., (2009), Climate Change Vulnerabilities and Adaptation Possibilities for Transport Infrastructures in France. Climate Report: Research on the Economics of Climate Change, France.
19. Collins, B. P.,(1982), Estimation of Aircraft Fuel Consumption, AIAA Journal of Aircraft , Vol. 19, No. 11:969-975.
20. Wolfson, M.M, and D.A Clark., (2006), Advanced Aviation Weather Forecast, Lincoln Laboratory Journal, Vol. 16, No.1.