ANALISIS RESIKO DAN PELUANG DALAM PENYUSUNAN RENCANA ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM KASUS: SEKTOR TRANSPORTASI UDARA

Risk Analysis and Opportunities in Plan of Climate Change Adaptation Case: Air Transportation Sector

Wahyu Purwanta

Pusat Teknologi Lingkungan (PTL)

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Gedung 820 Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang 15314

Email: wahyu.purwanta@bppt.go.id

Diterima: 26 Mei 2014; Diperiksa: 2 Juni 2014; Revisi: 16 Juni 2014; Disetujui: 25 Juni 2014

Abstract

For facing of climate change, there are two general steps that have to be done in its mitigation and adaptation. Adaptation is the adjustment measures or increased resilience as a result of the effects. There are several climate components that are identified to be able to change; increase land and sea surface temperature, rain intensity, sea surface levels and extreme climate events. Climate change impacts on various sectors of development, including air transport sector. This study describes the steps of the action plan for climate change adaptation in the air transport sector through the analysis of risks and opportunities. From the study results an action plan on adaptation to climate change impacts of air transport sector include; improvement of the standard of maintenance of facilities and infrastructure, the construction of an early warning system to weather conditions, the use of renewable energy, improving the pilot's ability, also supply clean water systems based recycling

Keywords: risk analysis, adaption, climate change, air transportation

Abstrak

Dalam menghadapi perubahan iklim, terdapat dua langkah yang umum dilakukan yakni mitigasi dan adaptasi. Adaptasi adalah langkah penyesuaian diri atau peningkatan resiliensi sebagai akibat dari dampak yang timbul. Terdapat beberapa komponen iklim yang diidentifikasi mengalami perubahan yakni kenaikan suhu permukaan daratan dan laut, intensitas curah hujan, tinggi muka laut dan peningkatan kejadian iklim ekstrim. Perubahan iklim berdampak pada berbagai sektor pembangunan termasuk sector transportasi udara. Studi ini memaparkan langkah penyusunan rencana aksi adaptasi perubahan iklim di sector transportasi udara melalui analisis resiko dan peluang. Dari hasil studi disusun rencana aksi adaptasi dampak perubahan iklim pada sector transportasi udara meliputi; peningkatan standar pemeliharaan sarana dan prasarana, pembangunan sistem peringatan dini kondisi cuaca, pemanfaatan energi ramah lingkungan, peningkatan kemampuan pilot sampai penyediaan sistem air bersih berbasis daur ulang.

Kata kunci: analisis resiko, adaptasi, perubahan iklim, transportasi udara

1. PENDAHULUAN

Salah satu ancaman lingkungan hidup terbesar abad ini adalah perubahan iklim sebagai akibat pemanasan global. Pendapat telah disetujui oleh panel ahli UNEP pada awal tahun 2000 yang lalu[1]. Sudah banyak studi dan penelitian dari berbagai negara bahwa perubahan iklim tidak saja memberi dampak kepada lingkungan hidup tetapi juga pada bidang ekonomi, sosial, budaya dan juga aspek pertahanan keamanan suatu bangsa. Laporan kelompok kerja II dibawah Inter-Governmental Panel on Climate Change/Panel antar Pemerintah (IPCC) mengenai dampak dan adaptasi perubahan iklim yang dikeluarkan pada

April 2007 menyebutkan bahwa Indonesia akan mengalami penurunan curah hujan di bagian selatan, sebaliknya bagian utara akan mengalami peningkatan curah hujan[2]. Ini berarti bahwa kawasan yang menurun curah hujannya sangat berpotensi mengganggu sistem tanam pertanian, khususnya tanaman yang tidak memiliki potensi tahan terhadap kekeringan, selain itu krisis air juga akan terjadi sehingga sulit menopang kehidupan (air bersih) dan infrastruktur pembangkit listrik turbin. Di sisi lain, peningkatan curah hujan di bagian utara menjadi daerah yang berpotensi terhadap ancaman banjir yang merusak sarana dan prasarana serta lahan-lahan basah.

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[3]. 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 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 (*unsustainable livelihood/pentagon asset*); *human, social, physic, nature and finance*). Dari sisi kapasitas, pada tiga komponen utama; *preparedness* (kesiapsiagaan), partisipasi (*participatory*) maupun kebijakan (*policy*), termasuk kelembagaan yang lebih tangguh dalam menghadapi ancaman bencana yang meningkat akibat perubahan iklim[4].

Salah satu sektor pembangunan di Indonesia yang juga tidak terlepas dari ancaman perubahan iklim adalah sektor transportasi udara. 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[5]. Dalam laporannya itu *Oxford Economic* memberikan gambaran rinci mengenai kontribusi industri penerbangan terhadap perkembangan ekonomi serta kemakmuran sosial dunia. Menurut lembaga ini, industri penerbangan mempunyai pengaruh global yang akan terjadi pada 2026 akan menciptakan 60 juta lapangan pekerjaan dan pendapatan produk domestik bruto (PDB) dunia sebesar 3,6 triliun dolar AS. Walaupun belum didapati angka ini untuk kondisi di Indonesia, namun jelas bahwa gangguan sistemik terhadap industri penerbangan akan berpengaruh pada ekonomi suatu negara. Tulisan ini akan memfokuskan pada upaya penyusunan rencana adaptasi sektor transportasi udara dimana analisis resiko dan peluang sebagai kunci utama.

Transportasi (angkutan) memiliki peran strategis dalam menggerakkan roda perekonomian nasional. Dilain pihak, bidang angkutan ini juga merupakan lahan bisnis sebagaimana sektor ekonomi lainnya. Bidang angkutan ini mencakup angkutan laut, angkutan jalan raya, angkutan

sungai, angkutan udara, angkutan rel, dan jasa penunjang angkutan. 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 2015[6].

Secara khusus, sektor transportasi udara juga akan terkena dampak dari naiknya suhu permukaan, berubahnya curah hujan, bertambahnya kejadian iklim ekstrim serta naiknya muka laut. Kejadian tersebut pasti akan berpengaruh pada terganggunya jadwal penerbangan, peningkatan keamanan penerbangan, terganggunya navigasi, tingkat kenyamanan bandara, sampai pada rusaknya infrastruktur bandara. Studi ini bertujuan menyusun konsep rencana aksi adaptasi

2. BAHAN DAN METODE

2.1 Pendekatan Studi

Studi adaptasi perubahan iklim pada dasarnya studi dengan pendekatan kuantitatif khususnya pada analisis awal besarnya perubahan angka pada beberapa komponen iklim. Dari besaran komponen iklim ini barulah dapat ditentukan dampak potensial apa yang mungkin timbul bagi sektor transportasi udara. Pada tahap kajian resiko dan peluang, kemudian evaluasi kapasitas adaptasi sektor serta keterpaduan dengan sektor lainnya merupakan gabungan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pada tahap prioritas terhadap resiko dan peluang maka umumnya dilakukan dengan pendekatan *expert judgement* misal melalui *Focus Group Discussion* (FGD). Gambar 1 memperlihatkan pola alur pendekatan studi adaptasi perubahan iklim yang diadopsi dan dimodifikasi dari UNEP (1998)[7].

Gambar 1. Alur studi adaptasi dampak perubahan iklim

2.2 Metode Pelaksanaan Studi

Metodologi penelitian adalah prinsip-prinsip umum yang memandu jalannya penelitian, sedangkan metode penelitian adalah *tools* yang digunakan untuk mendapatkan data penelitian[8]. Metode penelitian dalam studi ini meliputi tahapan yang juga merujuk pada Gambar 1 dengan urutan sebagai berikut:

2.2.1 Kajian pustaka

Pada tahap ini dilakukan kajian berbagai kebijakan terkait dengan perubahan iklim khususnya sektor transportasi udara. Dari aspek ilmiah juga dilakukan kajian komponen iklim apa saja yang

berubah dan bagaimana trennya serta model perubahan iklim yang paling mungkin terjadi di Indonesia.

2.2.2 Survey Lapangan

Pada tahap ini dilakukan survei ke bandara sampel guna mendapatkan data; (1) Kondisi eksisting bandara, geografi dan topografi, jumlah penumpang, jumlah maskapai terlayani, termasuk rencana Upaya Pengelolaan Lingkungan dan Upaya Pemantauan Lingkungan (UKL Dan UPL) bandara, serta peta jalan menuju *eco-airport* (2) Data parameter meteorologi yang diukur stasiun BMKG terdekat dengan bandara, (3) Prakiraan biaya operasional bandara saat ini seperti untuk penggunaan listrik, (4) Sistem penyediaan air bersih, (5) Sistem pengolahan air buangan dan sistem pengelolaan sampah, (6) Sistem pemantauan kualitas udara dan pengendalian kebisingan, serta (7) Sistem drainase dan jalan di bandara dan sekitarnya. Keseluruhan data dimaksudkan untuk mengetahui gambaran awal bandara serta kesiapannya dalam mengantisipasi dampak perubahan iklim.

2.2.3 Pengolahan dan Analisis Data

Tujuan utama analisis data adalah mendapatkan kondisi terkini baik fisik, klimatologis maupun ekosistem/lingkungan di bandara sampel saat ini serta kondisi hipotetis ke depan dikaitkan dengan model skenario perubahan iklim yang terjadi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Komponen Iklim yang Berubah

3.1.1 Kenaikan Suhu Permukaan

Salah satu komponen iklim yang menjadi perhatian global terkait perubahan iklim adalah naiknya suhu permukaan. Pada tahun 2007 dengan meng-

gunakan data hasil observasi dan hasil pemodelan iklim global didapati bahwa kontribusi aktivitas manusia (*anthropogenic*), telah mempercepat meningkatnya konsentrasi GRK di atmosfer serta menaikkan suhu rata-rata permukaan global sebesar $0,74^{\circ}\text{C} \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ selama rentang waktu 1906 – 2005[9]. Peningkatan konsentrasi GRK tercermin dari hasil pengukuran konsentrasi CO_2 di Stasiun Mauna Loa, Hawaii maupun Bukit Kototabang, Sumbar yang merupakan stasiun pemantauan global sebagaimana ditampilkan dalam Gambar 2[10]. Kesimpulan dasar ini telah dikemukakan oleh setidaknya 30 badan ilmiah dan akademik, termasuk semua akademi sains nasional dari negara-negara G8. Selain itu melalui model proyeksi iklim yang dijadikan acuan oleh IPCC menunjukkan suhu permukaan global akan meningkat 1,1 hingga 6,4 $^{\circ}\text{C}$ (2,0 hingga 11,5 $^{\circ}\text{F}$) antara tahun 1990 dan 2100[11]. Perbedaan angka perkiraan itu disebabkan oleh penggunaan skenario-skenario berbeda mengenai emisi gas-gas rumah kaca pada masa mendatang, serta model-model sensitivitas iklim yang berbeda.

Hasil proyeksi iklim sangat bergantung kepada skenario peningkatan konsentrasi GRK di atmosfer yang didasarkan pada asumsi perkembangan keadaan sosio-ekonomi global serta teknologi utama pendukungnya[12]. Dalam model AR4-IPCC, skenario yang dijalankan adalah berdasarkan *The Special Report Emission Scenarios* (SRES). Pengaruh pemanasan global dalam kenaikan suhu permukaan di wilayah Indonesia dapat diperkirakan tidak lebih besar dari 1°C sepanjang abad ke-20[13]. Nilai yang lebih pasti agak sulit diperoleh mengingat kurangnya rekaman data yang konsisten di Indonesia. Secara proyeksi, mengingat model-model AR4-IPCC mengasumsikan bahwa kenaikan suhu disebabkan dominan oleh pengaruh konsentrasi

Gambar 2. Peningkatan rata rata suhu global muka bumi tahun 1880 – 2010 terhadap rata rata suhu tahun 1951 – 1980

GRK yang tersebar di atmosfer secara merata maka berdasarkan kesepakatan para ahli iklim di Indonesia, kenaikan suhu di wilayah Malang dapat mewakili Indonesia. Dapat disimpulkan proyeksi kenaikan rata-rata suhu permukaan di seluruh Indonesia akibat GRK sampai dengan periode 2020 – 2050 adalah sekitar 0,8 – 1°C relatif terhadap periode iklim terakhir di abad ke-20[14].

3.1.2 Perubahan Intensitas Curah Hujan

Perubahan suhu atmosfer turut mempengaruhi perubahan curah hujan di berbagai wilayah di Indonesia. Curah hujan di Indonesia sangat bervariasi secara spasial dan temporal. Secara umum terdapat siklus tahunan dan setengah tahunan di dalam pola musiman curah hujan di Indonesia[15]. Berdasarkan analisis curah hujan musiman di wilayah Indonesia dalam laporan *Indonesia Second National Communication*, kenaikan curah hujan untuk Desember–Januari–Februari (DJF) terjadi di hampir seluruh P. Jawa dan Indonesia bagian timur, seperti Bali, NTB, dan NTT. Untuk curah hujan Juni–Juli–Agustus (JJA), tren penurunan yang signifikan dapat ditemui di hampir seluruh wilayah Indonesia, kecuali Pandeglang (Jawa Barat), Makassar (Sulawesi Selatan), Manokwari, Sorong (Papua), dan Maluku[16].

Menurut berbagai kajian yang membandingkan curah hujan Januari periode 1980-2010 dengan periode 1961-1990 (data dasar), telah terjadi perubahan nilai curah hujan rata-rata yang tidak seragam untuk wilayah Indonesia. Curah hujan rata-rata periode 1961-1990 untuk sebagian besar Pulau Sumatera berubah menjadi rata-rata 10 – 50 mm pada periode 1980-2010. Sedangkan untuk wilayah lainnya terdapat daerah yang curah hujan rata-ratanya naik, tetapi ada pula yang turun. Hasil model-model AR4-IPCC umumnya memperlihatkan pola perubahan curah hujan yang lebih bervariasi di Indonesia, baik secara temporal maupun spasial. Analisis proyeksi berdasar keluaran tujuh *Global Climate Model* (GCM) secara rata-rata tidak menunjukkan perubahan yang signifikan untuk periode 2020-2050[17]. Hal ini mengindikasikan bahwa sampai periode 2020-2050, keragaman iklim alami masih lebih berperan dibanding dengan pengaruh GRK dalam menentukan perubahan curah hujan.

3.1.3 Perubahan Suhu Permukaan Laut (SPL)

Salah satu efek pemanasan global adalah terjadinya penghangatan perairan khususnya lautan. Hasil rekonstruksi data dari *National Oceanic and Atmospheric Agency* (NOAA) memperlihatkan suhu permukaan laut (SPL) wilayah tropis dan perairan laut Indonesia, dari tahun 1854 – 2010 memiliki laju kenaikan rata-rata 0,7°C/100 tahun[18]. Dari berbagai penelitian dan pengamatan, diketahui SPL tropis Indonesia sangat dinamis berkisar 26,0°C dan 31,5°C. Suhu muka laut di perairan sebelah barat Bengkulu-Lampung, selatan Jawa, Bali, NTB, NTT dan

Merauke mempunyai rentang perubahan yang besar. Pada tingkat minimum berkisar 26,0°C terjadi bulan Agustus, sedangkan maksimum 31,5°C terjadi pada Februari hingga Maret. Pada wilayah perairan lain mempunyai rentang perubahan lebih kecil yaitu 29,0°C hingga 31,5°C.

Dilihat dari tren, untuk wilayah Indonesia, kenaikan sedikit lebih tinggi dari rata-rata global maupun wilayah tropis, yakni berkisar 0,8 °C/100 tahun atau 1,5 °C/100 tahun jika dihitung dari tahun 1945. Tren kenaikan ini masih sebanding dengan tren kenaikan temperatur global sebesar $0,78 \pm 0,18$ °C[19]. Secara umum, kenaikan SPL di Samudera Pasifik lebih tinggi dibandingkan dengan Samudera Hindia. Kenaikan SPL selama 30 tahun terakhir berkisar antara -0,2°C sampai 1°C dengan kenaikan tertinggi terjadi di Samudera Pasifik sebelah utara Pulau Papua. Sementara, kenaikan terendah terjadi di utara Australia. Kenaikan SPL di Laut Jawa, Banda, Arafura dan sebagian besar perairan di Indonesia Timur relatif tinggi dibandingkan dengan kenaikan SPL di Laut Cina Selatan yang hanya 0–0,25 °C.

3.1.4 Kenaikan Tinggi Muka Laut (TML)

Berdasar penelitian dan pengamatan telah terjadi peningkatan tinggi muka laut (TML) di wilayah Indonesia dengan laju kenaikan rata-rata 6 mm/tahun[20]. Sedangkan data yang dikeluarkan Bappenas melalui RAN-API 2014 memperlihatkan dari tahun 1960 sampai 2008, berdasarkan data *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA), maka perubahan TML di Indonesia sebesar 0,8 mm/tahun, kemudian meningkat menjadi 1,6 mm/tahun sejak tahun 1960 dan melonjak menjadi 7 mm/tahun dari tahun 1993. Ancaman nyata kenaikan TML adalah pada kota-kota pesisir, sebagai contoh kasus adalah Jakarta dan Semarang. Kenaikan muka laut pesisir Jakarta dan Semarang terpantau 4 hingga 4,5 mm/tahun. Selain itu terpantau juga adanya penurunan daratan yang cukup signifikan yaitu antara 5 hingga 17 cm dalam setahun terakhir, pada kurun waktu 2010-2011. Di Jakarta penurunan terlihat jelas di daerah Cengkareng, Jakarta Barat dan di Jakarta Utara seperti pelabuhan Tanjung Priok, yang mengalami penurunan antara 5-17 cm[21]. Gambar 3 menunjukkan kenaikan tinggi muka laut global. Sementara proyeksi tinggi muka laut untuk Indonesia ke depan ditampilkan dalam Tabel 1.

Gambar 3. Kenaikan muka laut rata-rata global

Tabel 1. Proyeksi kenaikan TML di perairan Indonesia^{*)}

Periode	Proyeksi TML	Tingkat Kepercayaan
2030	22,5 ± 1,5 cm	Sedang
2050	37,5 ± 2,5 cm	Sedang
2080	60,0 ± 4,0 cm	Tinggi
2100	80,0 ± 5,0 cm	Tinggi

^{*)}Tanpa penambahan *Dynamic Ice Melting*

3.1.5 Kejadian Cuaca dan Iklim Ekstrem

Kejadian iklim ekstrem merupakan salah satu dampak perubahan iklim yang dapat juga mengganggu kegiatan diberbagai sektor termasuk sektor transportasi udara. Kejadian cuaca dan iklim ekstrem adalah bagian intrinsik dari sistem iklim yang bersifat kaotik (*chaotic*). Namun demikian, perubahan iklim yang tengah terjadi saat ini ditengarai berpotensi meningkatkan frekuensi kejadian ekstrem di berbagai wilayah di dunia. Untuk mempersingkat, kejadian cuaca dan iklim ekstrem disebut sebagai “kejadian ekstrem” saja. Jadi, pendefinisian kejadian ekstrem tergantung dari suatu nilai ambang yang ditentukan dari statistik data pengamatan dan mungkin bersifat relatif terhadap tempat, waktu, maupun keperluan[22].

Salah satu konsekuensi, bahwa perubahan iklim berasal dari perubahan energi dan siklus air maka akan ada kemungkinan perubahan pola curah hujan ekstrem. Kriteria ekstrem mengacu pada ambang batas statistik. Penyebab dari peningkatan curah hujan ekstrem adalah peningkatan fenomena cuaca ekstrem seperti siklon tropis, banjir dan kekeringan, berkurangnya jumlah hari hujan dan penambahan periode hari hujan berturut turut (*wet spell*). Pada kasus kedua maka besaran intensitas hujan pada setiap hari hujan menjadi meningkat. Pada kasus ketiga maka peluang terjadinya kondisi ekstrem meningkat dengan periode hari hujan yang lebih panjang[23]. Grafik pada Gambar 4 memperlihatkan terjadinya peningkatan probabilitas terjadinya hujan harian sebesar 650 mm/bulan dari sebesar 6% pada periode 1900 – 1929 menjadi 22% pada periode 1970 – 2000. Ini menunjukkan bahwa kejadian cuaca dan iklim ekstrem telah meningkat.

Gambar 4. Peningkatan kemungkinan terjadinya curah hujan ekstrem pada rerata 1970-2000

3.2 Analisis Resiko dan Peluang

Setelah menetapkan komponen utama iklim yang diperkirakan akan berubah, selanjutnya dilakukan analisis dampak dari perubahan tersebut terhadap sarana seperti pesawat terbang, prasarana bandara serta operasional penerbangan. Perubahan suhu secara langsung dapat mempengaruhi fisik dan sistem elektronik pesawat terbang. Peningkatan temperature udara dapat menurunkan efisiensi mesin pesawat terbang[24]. Peluang yang tercipta dari kondisi ini barangkali perlunya penggunaan teknologi perdam panas dalam kabin pesawat yang lebih ramah lingkungan. Dari sisi kebandaraan, kondisi meningkatnya suhu, bisa membuat ketidak-nyamanan di gedung perkantoran dan pe-numpang. Hal ini akan meningkatkan operaional *Air Conditioning* (AC) sehingga meningkatkan biaya operasional. Peluang yang ada adalah pemanfaatan tenaga surya untuk AC. Jika peningkatan suhu terus terjadi juga akan mempengaruhi usia landasan, misalnya terjadinya *runway buckling*. Selain itu peningkatan suhu juga akan terjadi di kabin dan *cockpit* pesawat yang akan meningkatkan beban AC pesawat yang berarti meningkatnya biaya operasi.

Salah satu akibat dari peningkatan curah hujan adalah meningkatnya volume awan. Hal ini dapat berdampak pada peningkatan kemungkinan turbulensi pada pesawat yang mengakibatkan *flutter* dan *fatigue* pada strukturnya[25]. Peluang yang ada dari kondisi ini adalah penggunaan material *composite*. Dari sisi prasarana, meningkatnya curah hujan akan berpotensi terjadinya banjir. Kondisi drainase yang buruk akan menghambat operasional penerbangan akibat banjir di jalan akses ke bandara dan juga di landasan dan bandara itu sendiri. Peluang yang ada adalah bagaimana bandara yang mulai menerapkan *eco-airport* juga memanfaatkan kelebihan air ini sebagai sumber air bersih.

Untuk komponen kenaikan muka laut, hanya akan berdampak pada bandara-bandara yang berlokasi di wilayah pantai. Dampak utama adalah rusaknya infrastruktur dan terjadinya genangan pada *runway* dan *taxiway*. Fenomena kenaikan muka laut tidak berdampak pada kondisi pesawat terbang. Adapun kenaikan suhu permukaan laut akan mempengaruhi pada kondisi pesawat dan bandara seperti halnya kenaikan suhu permukaan (daratan) yang telah dibahas sebelumnya.

Peningkatan kejadian cuaca dan iklim ekstrem seperti petir dan angin kencang akan mempengaruhi kinerja alat navigasi dan komunikasi seperti tersambar petir. Bila ini terjadi maka akan mempengaruhi pola lalu lintas pesawat. Peningkatan kejadian iklim ekstrem juga akan mempengaruhi tingkat penundaan dan pembatalan pesawat untuk terbang, hal ini akan banyak mempengaruhi psikologis penumpang. Bisa dipastikan kejadian iklim ekstrem akan berpengaruh pada bisnis dan operasional maskapai. Dari keseluruhan hasil analisis resiko dan peluang

pada sektor transportasi udara ini selanjutnya dilakukan penyusunan rencana aksi adaptasi yang selengkapnya ditampilkan dalam Tabel 2.

3.3 Penyusunan Rencana Aksi

Tindakan adaptasi adalah penyesuaian dalam sistem ekologi, sosial dan ekonomi dalam merespon dampak perubahan iklim yang sudah terjadi atau yang diramalkan akan terjadi. Ini mengacu pada proses, praktek, dan struktur untuk mengurangi potensi kerugian serta mengambil keuntungan dari perubahan yang diakibatkan oleh perubahan iklim. Pada dasarnya, upaya adaptasi untuk merespon perubahan iklim seringkali berkaitan dengan pengurangan kerentanan. Tingkat kerentanan suatu sistem terhadap dampak perubahan iklim ditentukan oleh tiga faktor, yaitu tingkat kepaparan (*level of exposure*), tingkat kepekaan (*level of sensitivity*), dan kapasitas adaptif (*adaptive capacity*).

Tingkat kepaparan menunjukkan derajat, lama dan atau besarnya peluang suatu sistem untuk kontak dengan guncangan atau gangguan[26]. Tingkat kepekaan merupakan kondisi internal dari sistem yang sangat dipengaruhi oleh kondisi manusia dan lingkungannya. Kondisi manusia dapat dilihat dari tingkatan sosial dan manusianya sendiri seperti populasi, lembaga, struktur ekonomi dan yang lainnya. Sedangkan kondisi lingkungan merupakan perpaduan dari kondisi biofisik dan alam seperti tanah, air, iklim, mineral dan struktur serta fungsi ekosistem. Kondisi manusia dan lingkungan menentukan kemampuan adaptif suatu sistem yang juga sangat dipengaruhi oleh keragaman iklim. Kapasitas adaptif menunjukkan kemampuan dari suatu sistem untuk melakukan penyesuaian (*adjustment*) terhadap perubahan iklim sehingga potensi dampak negatif dapat dikurangi dan dampak positif dapat dimaksimalkan atau dengan kata lain kemampuan untuk mengatasi konsekuensi dari perubahan iklim (*to cope with the consequences*)[27]. Jadi upaya adaptasi perubahan iklim dapat dikatakan sebagai upaya untuk meningkatkan ketahanan atau resiliensi suatu sistem, terhadap dampak dari perubahan iklim.

Tingkat keterpaparan beberapa komponen iklim yang berubah pada sektor transportasi udara bisa dibilang akan berlangsung selama periode perubahan iklim itu sendiri berlangsung sehingga tidak ada alat ukur seberapa lama dan bagaimana tingkat paparan pada sektor transportasi udara. Demikian halnya dengan tingkat kerentanan atau sensitivitas juga belum ada instrument yang bisa digunakan untuk mengukur pada suatu sektor tertentu termasuk transportasi udara. Kementerian Lingkungan Hidup saat ini sedang mengembangkan metode untuk mengukur tingkat kerentanan suatu wilayah misal desa atau kecamatan, atau suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Berdasar kajian dari penulis, metode yang dikembangkan KLH ini kurang sesuai untuk mengukur tingkat kerentanan sektoral. Sedangkan daya adaptasi dari

hasil penelitian dengan metode kuesioner yang disebarkan kepada para pemangku kepentingan di sektor transportasi udara didapati skor 69,5 yang artinya Indeks Kapasitas Adaptasi sektor ini termasuk *moderate adaptive capacity*. Berdasarkan analisis resiko dan peluang yang telah diuraikan sebelumnya selanjutnya disusun matriks rencana adaptasi sebagaimana ditampilkan dalam Tabel 2.

4. KESIMPULAN

Perubahan iklim berdampak pada berbagai sektor pembangunan termasuk sektor transportasi udara, sehingga diperlukan langkah, rencana aksi serta program adaptasi perubahan iklim yang terencana dan terpadu.

Perubahan komponen iklim seperti kenaikan suhu permukaan, kenaikan muka air laut dan suhu permukaan laut, intensitas curah hujan dan kejadian iklim ekstrim berdampak pada sarana, prasarana dan operasional pembangunan namun sekaligus terdapat peluang di dalamnya untuk dioptimalkan dalam program adaptasi.

Analisis resiko dan peluang merupakan *tools* yang dapat membantu dalam perencanaan program adaptasi perubahan iklim termasuk sektor transportasi udara.

Rencana aksi adaptasi dampak perubahan iklim pada sektor transportasi udara meliputi peningkatan standar pemeliharaan sarana dan prasarana, pembangunan sistem *early warning* kondisi cuaca, pemanfaatan energi ramah lingkungan, peningkatan kemampuan pilot sampai penyediaan sistem air bersih berbasis daur ulang di bandara. Dari hasil kajian, Indeks Kapasitas Adaptasi untuk sektor transportasi udara adalah tergolong *moderate adaptive capacity*.

DAFTAR PUSTAKA

1. PRISMA. 2010. *Perubahan Iklim dan Tantangan Peradaban*. LP3ES. Vol.29 April 2010.
2. IPCC. 1995. *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses*. Contribution of Working Group II. Cambridge.
3. Diposaptono, S., Budiman, F. Agung. 2009. *Menyiasati Perubahan Iklim Di Wilayah Pesisir dan Pulau-pulau Kecil*. PT. Sarana Komunitas Utama. Bogor
4. KLH, GTZ dan WWF. 2007. *Kajian Risiko dan Adaptasi Terhadap Perubahan Iklim Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat. Sektor Pesisir dan Laut*. Technical Document
5. PRAKARSA. 2012. *Infrastruktur Pembangunan: Tinjauan ke Masa Depan*. Edisi 9, Januari 2012.
6. Bank Mandiri. 2013. *Industry Update: Vo.23* December 2013.
7. UNEP and IES.1998. *Handbook on Methods for Climate Change Impact Assessment And*

Tabel 2. Matrik Analisis Resiko dan Peluang Serta Rencana Aksi Adaptasi

No	Isu Iklim	Dampak	Resiko (Risk)	Peluang (Opportunity)	Rencana Aksi Adaptasi
1	Kenaikan suhu permukaan	Prasarana: Daya tahan konstruksi <i>runway</i> Kenyamanan ruang kantor Kenyamanan terminal penumpang Sarana: Peningkatan suhu dalam kabin pesawat Operasi penerbangan: <i>Lift off load limit</i>	<i>Runway buckling</i> Beban AC meningkat Kinerja alat elektronik & sistem proteksi menurun Bisnis maskapai Konsumsi energi meningkat	Material alternatif Energi alternatif seperti panel surya Pemanfaatan teknologi ramah lingkungan Pemanfaatan energi ramah lingkungan	Peningkatan standar disain & konstruksi runway Disain ruang kerja dan terminal penumpang menjadi lebih <i>ecofriendly</i> Riset sistem elektronik dan proteksi Penggantian bertahap energi fosil ke energi baru terbarukan
2	a. Kenaikan curah hujan: b. Penurunan curah hujan	Prasarana: Jumlah hari hujan dan volume air meningkat Sarana: Peningkatan volume awan & hari hujan Operasional penerbangan: Kejadian banjir sekitar dan di bandara Prasarana: Menurunnya volume air dan hari hujan Operasional penerbangan: Kebakaran hutan meningkat	Banjir di area parkir, <i>runway</i> dan jalan Kerusakan infrastruktur Peningkatan turbulensi berdampak pada <i>fluter</i> dan <i>Delay/cancel flight</i> naik Pendapatan maskapai turun Gangguan penyediaan air bersih Gangguan penerbangan/ visability	Pemanfaatan air hujan untuk air bersih/ cadangan Pemanfaatan material composite Penerapan sumur resapan Efisiensi dan daur ulang air di bandara Riset kerentanan kebakaran hutan pada penerbangan	Peningkatan fasilitas drainase Peningkatan jalan akses ke bandara Riset material dan struktur pesawat Integrasi rencana adaptasi dengan sektor terkait
3	Kenaikan suhu permukaan laut (SPL)	Prasarana di bandara pesisir: Daya tahan konstruksi <i>runway</i> Kenyamanan ruang kantor Kenyamanan terminal penumpang	<i>Runway buckling</i> Beban AC meningkat	Material alternatif Energi alternatif seperti panel surya	Peningkatan standar disain & konstruksi runway Disain ruang kerja dan terminal penumpang menjadi lebih <i>ecofriendly</i>
4	Kenaikan Tinggi Muka Laut (TML)	Prasarana: Terjadinya genangan atau rob pada bandara di tepi pantai Sarana: Peningkatan suhu dalam kabin pesawat pada bandara di tepi pantai Operasional penerbangan: Kendala operasional pada bandara di pesisir	Kerusakan infrastruktur termasuk <i>runway</i> Kinerja alat elektronik & sistem proteksi menurun <i>Delay/cancel flight</i> Kerugian maskapai	Pemanfaatan teknologi ramah lingkungan	Pembuatan bangunan pelidung & peningkatan elevasi runway Riset sistem elektronik dan proteksi Membangun <i>sistem early warning</i> TML
5	Kejadian cuaca dan iklim ekstrem	Prasarana: Petir dan badai sering terjadi Curah hujan ekstrem meningkat Sarana: Petir dan badai sering terjadi Curah hujan ekstrem meningkat Operasional penerbangan: Curah hujan ekstrem meningkat	Kerusakan infrastruktur bangunan Gangguan alat elektronik dan sistem komunikasi pesawat <i>Delay/cancel flight</i> Potensi kecelakaan pesawat meningkat Kerugian maskapai	Peninjauan terhadap material dan bahan bangunan alternatif Peremajaan dan modernisasi peralatan elektronik Peninjauan semua prosedur operasional penerbangan	Peningkatan sistem pemeliharaan perkantoran dan gedung bandara Peningkatan kemampuan pilot Sistem <i>early warning</i> Membangun sistem <i>early warning</i> kondisi cuaca yang <i>real</i>

Adaptation Strategies. Version 2.0

8. Soesilo, B. 2008. *Metodologi Penelitian dan Statistik*. Proram Ilmu Lingkungan. Faultas Pasca Sarjana. Universitas Indonesia
9. Aldrian, E. dkk. 2011. *Perubahan Iklim: Adaptasi Dan Mitigasinya*. BMKG Jakarta
10. National Development Planning Agency (Bappenas). 2009. *Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap (ICCSR)*– Synthesis Report.
11. National Research Council, USA. 2001. *Climate Change Science: An Analysis of Some Key Questions*, Washington D.C
12. Cochran, Ian. 2009. *Climate Change Vulnerabilities And Adaptation Possibilities For Transport Infrastructures In France*. Climate Report: Research on the Economics of Climate Change. France.
13. Bappenas. 2014. *Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN-API)*
14. Bappenas. 2010. *National Development Planning: Indonesia Responses to Climate Change*. Jakarta
15. Ministry of Environment, Republic of Indonesia. 2009. *Indonesia Second National Communication (SNC) Under the United Nation Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)* – Final Report.
16. Stevenson, D. 2011. *Climate Change Science*. Institute of Atmospheric and Environmental Science, UK.
17. Ardiansyah, M., Boer, R., Faqih, A. 2013. *Pengenalan Konsep Dasar Analisis Kerentanan dan Resiko Iklim dan Pemanfaatannya Untuk Penentuan Pilihan dan Prioritas Program Adaptasi Perubahan Iklim*. CCROM – IPB
18. Smith, T.M., dan R.W. Reynolds, 2004: Improved Extended Reconstruction of SST 1854-1997. *Journal of Climate*, 17, 2466–2477.
19. IPCC. 2007. *Climate Change 2007 – The Physical science basis*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
20. Hendiarti, N., Sadly, M., dan Agustan. 2011. *Teknologi Adaptasi Perubahan Iklim Untuk Bidang Kelautan*. Kemenristek.
21. Susandi, A., Herlianti, I., Tamamadin, M., Nurlela, I. 2008. *Dampak Perubahan Iklim Terhadap Ketinggian Muka Laut di Wilayah Banjarmasin*. *Jurnal Ekonomi Lingkungan*, Vol.12, No.2 2008.
22. IPCC Special Report. 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters Advance Climate Change Adaptation*. Cambridge University Press.
23. Natural Resources Canada & Canada Institute of Planners. 2011. *Climate Change Adaptation Planning: A Handbook for Small Canadian Communities*.
24. Farouk, N., Sheng, L., Hayat, Q. 2013. *Effect of Ambient Temperature on the Performance of Gas Turbine Power Plant*. *International Journal of Computer Science Issues*, Vol.10, Issue 1, No.3, January 2013.
25. Andreassen, O., Wasberg, C.E., Helgeland, A. 2013. *Studies of Aerodynamically Induced Vibrations on the P-3C Maritime Surveillance Aircraft and Proposed Vibration Reducing Measures*. Report, Norwegian Defence Research Establishment (FFI). January 2013.
26. Hanaoka, S., Regmi, M. 2009. *Impacts of Climate Change on Transportation and Adaptation in Asia*. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. Vol.7, 2009
27. Smit, B., Wandel, J. 2006. *Adaptation, Adaptive Capacity, and Vulnerability*. *Global Environmental Change* 16 (2006), 282 - 292