

PEMODELAN SIMULASI JARINGAN TRANSPORTASI UDARA NASIONAL

Gunawan¹, Rully Medianto¹

Program Studi Teknik Penerbangan, Sekolah Tinggi Teknologi Adisutjipto (STTA)
guns797@gmail.com

Abstrak

Meningkatnya kebutuhan dan kapasitas sistem transportasi udara nasional membutuhkan antisipasi yang tepat dan cepat. Salah satunya adalah sistem jaringan penerbangan yang baik dan memadai sehingga dapat mencegah atau setidaknya mengurangi keterlambatan atau tundaan pergerakan. Dibutuhkan sebuah model yang mampu merepresentasikan sistem jaringan transportasi udara nasional dengan baik. Dengan model tersebut diharapkan kita dapat melakukan analisis sistem dengan baik sehingga dapat mengambil langkah-langkah preventif untuk mencegah terjadinya masalah-masalah pada sistem transportasi udara nasional.

Solusi yang diajukan pada penelitian ini adalah membuat model simulasi jaringan transportasi udara nasional. Sistem ini dibuat berdasarkan *load factor*, type pesawat serta rute-rute yang dilayani saat ini.

Penulis telah mengembangkan model simulasi jaringan transportasi udara nasional yang berbasis pada simulasi kejadian diskrit. Model simulasi yang telah dibangun dapat dimanfaatkan guna mengidentifikasi *bottleneck* sistem, memprediksi kebutuhan sarana dan prasarana serta optimasi jaringan transportasi udara nasional

Kata Kunci: model simulasi, jaringan transportasi udara nasional.

1. Pendahuluan

Transportasi udara saat ini menjadi pilihan utama dalam melakukan perjalanan sehingga rute-rute yang dilayani oleh airline semakin meningkat. Berdasarkan data BPS tahun 2012 total pergerakan pesawat domestik 717.435 dan pergerakan pesawat internasional 84.962, sedangkan pergerakan penumpang domestik 70.682.216 dan pergerakan penumpang internasional 11.749.073.

Pada sisi lain Indonesia merupakan wilayah yang sering terjadi bencana seperti kabut asap, gempa bumi, erupsi gunung berapi yang dapat berakibat penutupan bandar udara. Sebagai contoh akibat letusan Gunung Kelud sebanyak tujuh bandar udara (bandara) ditutup untuk 4 - 7 hari dengan total ada 281 penerbangan yang dibatalkan. Ketujuh bandara tersebut yaitu bandara Juanda Surabaya, Bandara Adi Sumarmo Solo, Bandara Ahmad Yani Semarang, Bandara Adi Sucipto Yogyakarta, Bandara Husein Sastranegara Bandung, Bandara Tunggul Wulung Cilacap, dan Bandara Abdurrachman Saleh Malang.

Pemerintah melalui Dirjen Perhubungan Udara Kementerian Perhubungan sebagai regulator penerbangan menutup tujuh bandar udara tersebut akibat dari erupsi. Sejumlah maskapai penerbangan yang beroperasi secara nasional banyak yang membatalkan jadwal penerbangan pada bandar udara yang terdampak erupsi. Maskapai penerbangan memberikan

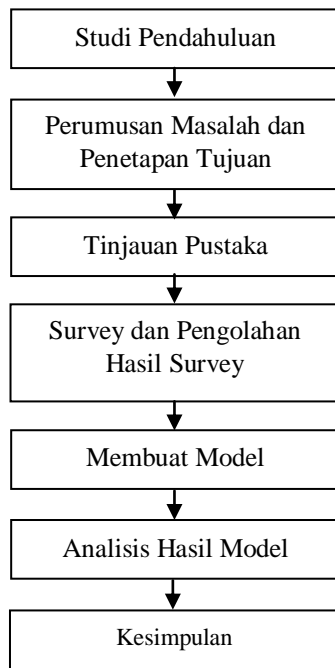
alternatif solusi bagi penumpang yang sudah membeli tiket seperti melakukan penjadwalan ulang, pilihan rute berbeda atau bisa membatalkan penerbangannya. Pemerintah dalam hal ini tidak mempunyai solusi dalam melayani penumpang pada rute-rute bandar udara yang ditutup.

Model simulasi jaringan transportasi udara yang ditawarkan pada penelitian ini diharapkan dapat membantu pemerintah dalam merencanakan sebuah tindakan yang tepat guna mengantisipasi masalah-masalah pada sistem transportasi udara nasional misalnya penutupan sebuah bandar udara atau lebih akibat bencana atau sebab lainnya. Model ini dapat mensimulasikan gangguan transportasi udara penumpang yang berada di luar rute normal dan penjadwalan harian. Model simulasi jaringan transportasi udara ini dapat memberikan gambaran dalam mengambil keputusan setelah penutupan bandar udara. Model ini juga dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dan kinerja jaringan transportasi udara nasional berserta optimalisasinya.

2. Metodologi

2.1 Tahapan Penelitian

Tahapan proses penelitian seperti digambarkan pada diagram berikut :



Gambar 1. Diagram alur penelitian

2.2 Survei

Kegiatan yang dilakukan dalam survei untuk deskripsi jaringan transportasi udara nasional sebagai berikut :

1. Pengambilan data statistik transportasi udara nasional; tipe pesawat yang dioperasikan airline; fasilitas dan kapasitas bandar udara.
2. Pengambilan data di Bandar Udara Pengumpul Primer meliputi Soekarno Hatta, Juanda, Hasanuddin untuk data : waktu dan jumlah pergerakan pesawat udara meliputi waktu parkir, taxi dan takeoff; lalu lintas pergerakan penumpang dan pesawat udara; Statistik pergerakan penumpang, tingkat keterlambatan.

2.3 Deskripsi Sistem

Sistem jaringan transportasi udara yang dimodelkan pada penelitian ini terbatas hanya pada jaringan transportasi udara yang dilayani oleh maskapai penerbangan reguler berjadwal. Pesawat udara akan berangkat menempuh rute penerbangan sesuai dengan jadwal yang telah ditentukan. Selama menunggu jadwal keberangkatannya pesawat udara parkir di *apron* (landas parkir) yang telah disediakan.

Apabila jadwal keberangkatan sudah tiba maka pesawat akan bergerak menuju ke *runway* (landas pacu) melalui *taxiway* (landas hubung). Tidak semua waktu keberangkatan penerbangan selalu tepat, waktu keberangkatan kadang mengalami keterlambatan. Hal tersebut diakibatkan oleh kedatangan yang terlambat, kerusakan pesawat, penanganan penumpang, cuaca ataupun sebab yang lainnya.

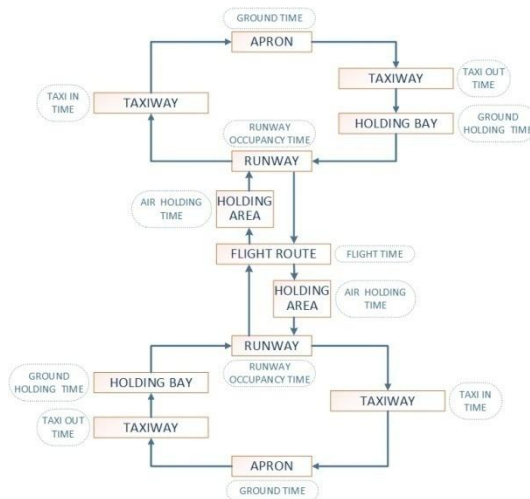
Sebelum menggunakan landas pacu untuk *take-off* (lepas landas) dari bandar udara asal (*origin*) pesawat udara kadang harus menunggu di *holding bay* (tempat tunggu) terlebih dahulu untuk menunggu giliran penggunaan landas pacu baik oleh pesawat yang akan berangkat ataupun datang.

Pesawat udara lepas landas dengan waktu penggunaan landas pacu (*Departure Runway Occupancy Time*) yang ditentukan oleh panjang landas pacu, tipe pesawat, kondisi atmosfer (tekanan, suhu, angin dan lainnya) serta faktor lainnya. Pesawat udara selanjutnya menuju bandar udara tujuan melalui rute yang telah ditentukan sesuai dengan rencana penerbangan yang telah disusun.

Walaupun secara umum jarak antar bandara sudah dapat ditentukan, namun waktu yang ditempuh oleh pesawat udara selama terbang jelajah (*cruising*) dapat berbeda. Hal ini dimungkinkan karena adanya perbedaan beberapa faktor operasi antar satu penerbangan dengan penerbangan yang lainnya. Faktor-faktor tersebut diantaranya meliputi perbedaan rute yang diambil, kondisi cuaca sepanjang rute yang diambil, tipe pesawat serta prestasi terbang pesawat udara.

Saat akan melakukan pendaratan di bandar udara tujuan (*destination*) pesawat udara kadang harus mengantri di *holding area* (area tunggu) untuk menunggu giliran menggunakan landas pacu. Pengaturan separasi antar pesawat udara juga dilakukan di titik tunggu ini untuk menjamin separasi yang aman antar pesawat udara. Apabila landas pacu telah kosong maka pesawat udara melakukan pendekatan akhir (*final approach*) dan selanjutnya mendarat pada landas pacu. Penggunaan landas pacu untuk pendaratan (*Arrival Runway Occupancy Time*) tiap bandar udara akan berbeda yang dipengaruhi oleh panjang landas pacu, tipe pesawat, kondisi atmosfer (tekanan, suhu, angin dan lainnya) serta faktor lainnya.

Selanjutnya pesawat udara masuk landas parkir melalui landas hubung untuk parkir dan menurunkan penumpang dan menunggu jadwal keberangkatan penerbangan berikutnya. Gambar 2 menggambarkan deskripsi sistem jaringan transportasi udara yang dimodelkan di dalam penelitian ini.



Gambar 2. Deskripsi Sistem Jaringan Transportasi Udara.

2.4 Konsep Pemodelan

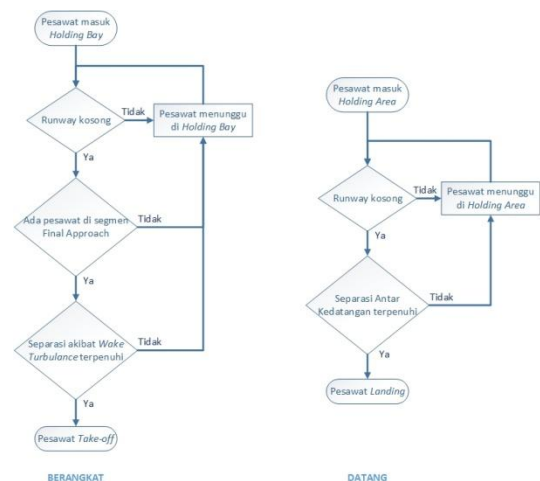
Tingkat kedetailan abstraksi sistem tanpa membuat model terlalu kompleks merupakan tahapan yang penting dan menantang dalam pemodelan [6]. Pemodelan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan konsep pemodelan pada tingkatan mesoskopik. Model memiliki tingkat pemodelan yang lebih detail dibandingkan dengan model makroskopik namun masih di bawah kedetailan mikroskopik.

Model makroskopik jaringan penerbangan pada umumnya dibangun dengan persamaan antrian sederhana yang hanya memodelkan pergerakan pesawat udara dari bandar udara asal sampai bandar udara tujuan tanpa memodelkan operasi di bandar udara dengan lebih detail. Karakteristik rute penerbangan didekati dengan distribusi waktu antar-kedatangan (*inter-arrival time*) dan waktu layanan (*service-time*). Data historis dipakai untuk menentukan parameter model antrian dan parameter model tersebut biasanya tidak akan relevan lagi dipakai untuk volume lalu lintas penerbangan yang berbeda ataupun karakteristik bandar udara yang berbeda. Pada sisi lain, model mikroskopik berupa model simulasi yang berbasiskan pada lintasan (*trajectory*) kompleks. Geometri pergerakan pesawat udara dimodelkan secara akurat dan menggunakan model propagasi pesawat udara dengan ketelitian yang cukup tinggi untuk menghasilkan propagasi deterministik pesawat udara selama di jaringan penerbangan. Algoritma khusus dibutuhkan model jenis ini untuk memprediksi lintasan, kemungkinan konflik dan membangkitkan manuver taktis untuk menghindari konflik tersebut. Mekanisme kendali taktis seperti pengarahan dan pengaturan kecepatan (vektoring) untuk menjaga aturan separasi harus dimasukkan secara eksplisit di dalam persamaan lintasan [10].

Pada posisi pertengahan di antara model makroskopik dan mikroskopik terdapat model mesoskopik seperti yang dikembangkan oleh monish dkk., [10]. Model tersebut menggunakan abstraksi antrian untuk memodelkan mekanisme pengendalian taktis untuk penjaminan separasi. Pada kondisi aktual, penjaminan separasi dilakukan dengan vektoring pesawat udara yang membuntuti di belakang (*trailing aircraft*) sehingga tidak melewati batasan separasi yang telah ditentukan.

Pada model jaringan penerbangan yang dibangun, usaha untuk menjaga separasi antar pesawat udara saat keberangkatan dan kedatangan dijamin dengan menerapkan aturan bahwa hanya sebuah pesawat udara berada di *runway* pada satu waktu tertentu. Untuk keberangkatan juga diterapkan aturan separasi yang diakibatkan oleh *wake turbulence* sesuai dengan aturan yang ditetapkan oleh *International Civil Aviation Organization (ICAO)*. Pesawat yang dibelakangnya diharuskan mengantri di *holding bay* hingga pesawat di depan telah meninggalkan *runway*.

Pada kedatangan juga diberlakukan aturan separasi saat memasuki segmen pendekatan akhir (*final approach*). Pesawat yang di belakang akan menunggu di *holding area* sampai dipastikan separasi kedatangan terpenuhi. Gambar 3 memberi informasi tentang aturan separasi yang diterapkan untuk operasi keberangkatan dan kedatangan pada model yang dibuat.



Gambar 3. Abstraksi Aturan Separasi di Model Simulasi

2.5 Entitas Model

Entitas merupakan “pemain” pada sebuah simulasi. Entitas tersebut akan selalu bergerak dari satu proses ke proses lainnya, berubah atributnya, mempengaruhi/dipengaruhi oleh entitas lainnya. Entitas juga mempengaruhi/dipengaruhi oleh kondisi sistem serta mempengaruhi kinerja sistem yang diukur [6]. Pada model ini yang menjadi entitas adalah

pesawat udara dengan asumsi tidak terdapat perbedaan tipe pesawat udara. Penentuan variabel kecepatan pendekatan berdasarkan pada profil kecepatan pendekatan pesawat udara Tipe Medium. Pesawat yang masuk ke dalam tipe ini merupakan pesawat yang memiliki berat 7000 s.d. 136.000 kg. Masuk ke dalam tipe ini diantaranya adalah pesawat Airbus A320, ATR 72-500, Boeing B737-400 dan Boeing B737-800.

2.6 Parameter Model

Agar model mampu mendekati sistem aslinya, pemilihan parameter model menjadi faktor yang sangat penting. Langkah pertama untuk mendapatkan parameter model yang baik adalah menentukan karakteristik sistem apa yang ingin kita modelkan dengan baik. Selanjutnya adalah mengumpulkan data primer ataupun data sekunder yang dapat mewakili karakteristik sistem dengan baik. Pada penelitian ini sebagian besar data yang didapatkan merupakan data sekunder berupa informasi statistik penerbangan, statistik pergerakan pesawat udara, jadwal penerbangan, dan data-data pendukung lainnya.

2.6.1 Jadwal Keberangkatan

Pesawat udara akan masuk ke dalam sistem pada waktu-waktu tertentu sesuai dengan jadwal keberangkatan yang telah ditentukan. Jadwal keberangkatan didapatkan dari bandar udara yang terkait.

2.6.2 Waktu Tempuh Rute Penerbang

Kecepatan pesawat, rute yang dipilih dan kondisi cuaca pada rute akan mempengaruhi lamanya waktu tempuh. Waktu tempu rute penerbangan dibangun dengan pendekatan distribusi stokastik yang diharapkan dapat merepresentasikan efek dari keacakan (*random*) dan kompleksitas pergerakan pesawat yang tidak teramati.

2.6.3 Separasi Antar Pesawat Udara

Separasi minimal antar pesawat udara menjadi parameter model yang penting karena merupakan salah satu karakteristik yang dimiliki oleh model jaringan penerbangan ini. Parameter separasi antar pesawat udara ini diwakili oleh dua parameter, yaitu separasi antar pesawat saat keberangkatan dan separasi antar pesawat saat kedatangan. Separasi pada model ini akan didekati dengan nilai konstan sesuai dengan peraturan ICAO dan aturan lokal yang berlaku di bandar udara setempat.

2.6.4 Waktu Penggunaan Taxiway dan Runway

Waktu penggunaan *taxiway* dan *runway* tergantung dari karakteristik bandar udara yang digunakan. Faktor yang mempengaruhinya

diantaranya adalah panjang *taxiway* dan *runway*, kepadatan lalu lintas, tersediannya *rapid exit taxiway*, konfigurasi *taxiway* dan *runway*, kondisi cuaca dan lain-lain. Waktu penggunaan *taxiway* dan *runway* dikelompokkan berdasarkan klasifikasi bandara dari Kementerian Perhubungan RI dan didekati dengan distribusi segitiga.

2.6.5 Ground Time

Ground time merupakan lamanya waktu pesawat parkir di *apron*. Waktu ini digunakan untuk mempersiapkan pesawat udara agar siap dioperasikan untuk penerbangan berikutnya. Beberapa kegiatan *ground handling* dilakukan pada waktu ini seperti pembersihan kabin, pengisian bahan bakar, pemuatan catering, pemuatan bagasi dan kargo dan penaikan penumpang. Ada kalanya *ground time* ini melebihi dari waktu yang ditentukan yang berakibat pada keterlambatan keberangkatan. Hal tersebut diantaranya disebabkan oleh masalah teknis, gangguan cuaca ataupun masalah penanganan penumpang dan barang.

2.6.6 Elemen Model

Model simulasi jaringan transportasi udara nasional mencakup 69 bandar udara dengan rute penerbangan yang dijalankan oleh pesawat udara dengan tipe pesawat udara dari maskapai penerbangan. Berikut adalah detail dari elemen-elemen yang terlibat di dalam simulasi.

Tabel 1. Elemen Model Simulasi Jaringan Transportasi Udara Nasional

Elemen Model	Jumlah	Keterangan
Bandara	67	Pengumpul Primer : 5 Pengumpul Sekunder : 16 Pengumpul Tersier : 7 Pengumpan : 39
Maskapai Penerbangan	9	Garuda Indonesia, Lion Air, Batik Air, Sriwijaya Air, Air Asia, Citilink, Kalstar, Wings Air
Pesawat Udara	246	-
Tipe Pesawat	10	B 737-900, B 737-800, B 737-500, B 737-400, B 737-300, ATR 72, CRJ 1000, A 320, A 330-300, E 190
Rute Penerbangan	150	-
Penerbangan	1115	-

2.6.7 Asumsi Model

Sebuah model tidak akan dapat secara sempurna menyerupai sistem aslinya. Hal ini dikarenakan adanya beberapa asumsi-asumsi yang dipakai untuk menyederhanakan kondisi

nyata. Asumsi-asumsi ini perlu diambil mengingat keterbatasan kemampuan pemodelan dari perangkat lunak dan data yang dimiliki. Berikut ini adalah beberapa asumsi yang digunakan dalam pembangunan model jaringan transportasi penerbangan :

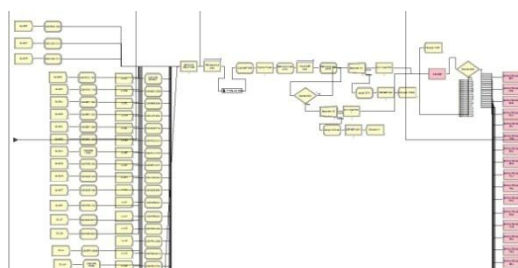
- 1) Hanya mencakup penerbangan maskapai berjadwal.
- 2) Perbedaan prestasi (*performance*) pesawat udara diabaikan, pesawat udara dianggap hanya satu tipe yaitu Tipe Medium.
- 3) Waktu separasi antar pesawat udara didekati dengan nilai konstan.
- 4) Faktor cuaca tidak dimasukkan ke dalam model.
- 5) Pemodelan tidak memperhitungkan pengaruh faktor manusia (*human factor*).
- 6) Separasi minimal yang dimodelkan hanyalah separasi horisontal.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Proses Pemodelan

Proses pemodelan simulasi sistem jaringan penerbangan nasional ini dibantu dengan perangkat lunak ARENA. Modul-modul grafis memodelkan sistem sesuai dengan pendekatan alur proses sistem. ARENA juga menyediakan model animasi dua dimensi. Dengan kemampuan ini maka proses verifikasi dan validasi model dapat lebih mudah dilakukan. Reperesentasi model secara visual juga akan membantu pemahaman sistem secara utuh sehingga analisis dapat dilakukan dengan lebih efektif. Pergerakan pesawat udara di bandar udara akan dimodelkan oleh dua sub model, yaitu sub model keberangkatan dan sub model kedatangan. Entitas akan memasuki sub model keberangkatan berdasarkan jadwal penerbangan yang sudah ditentukan, dan selanjutnya keluar menuju bandar udara tujuan sesuai dengan rute penerbangannya.

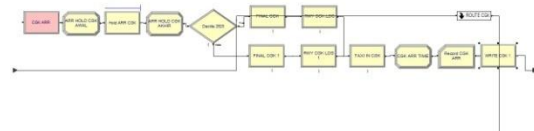
Gambar 4. menunjukkan contoh rangkaian sub model keberangkatan di ARENA pada satu Bandar udara.



Gambar 4. Contoh Sub Model Keberangkatan.

Selanjutnya setelah menyelesaikan rute penerbangannya entitas masuk ke dalam sub model kedatangan sesuai dengan bandara yang dituju. Pada sub model kedatangan ini juga

dilakukan perekaman variable dan atribut penting yang dimiliki oleh entitas yang akan digunakan untuk menganalisis sistem jaringan penerbangan nasional ini. Data yang direkam diantaranya adalah jenis pesawat, rute penerbangan, lama keterlambatan, waktu holding (keberangkatan dan kedatangan), serta waktu total yang dijalani oleh entitas selama menjalani rute tersebut. Gambar 5. menunjukkan contoh rangkaian sub model kedatangan.



Gambar 5. Contoh Sub Model Kedatangan.

3.2 Verifikasi dan Validasi Model

Metode verifikasi dan validasi sebuah model harus disesuaikan dengan tujuan utama dari pemodelan. Pada penelitian ini hal tersebut ditujukan untuk mengetahui apakah model yang dibangun telah berjalan benar sesuai dengan konsep pemodelan yang telah ditetapkan dan apakah model yang dibangun telah dapat mendekati karakteristik sistem jaringan transportasi udara. Karakteristik utama yang harus dapat dimodelkan dengan baik adalah separasi antar pesawat udara dan antrian di *holding bay/area*.

Penelusuran kesalahan pembangunan model dapat dilakukan dengan mudah di ARENA karena setiap kesalahan pembangunan modul per modul akan segera diketahui begitu rangkaian modul ARENA tersebut kita jalankan sehingga kesalahan akan segera diketahui. Proses verifikasi juga sangat terbantu dengan kemampuan ARENA untuk memvisualisasikan simulasi model dengan animasi. Kemampuan ini memudahkan dalam hal pengamatan entitas saat keberangkatan ataupun kedatangan, apakah sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan atau belum.

Berdasarkan proses verifikasi yang telah diperoleh hasil bahwa model telah berjalan dengan benar dan implementasi konsep pemodelan telah dilakukan dengan tepat.

Metode validasi model yang pertama adalah dengan animasi. Metode ini digunakan untuk mengamati tingkah laku operasi model selama simulasi berjalan [14]. Fasilitas animasi dua dimensi yang dimiliki oleh ARENA sangat membantu metode ini. Beberapa entitas diamati pergerakannya mulai dari saat masuk sistem sampai keluar dari sistem, dengan demikian dapat diketahui apakah entitas bergerak dengan benar sesuai dengan konsep pemodelan yang telah ditentukan.

Beberapa pertanyaan yang dapat dijawab melalui validasi animasi ini diantaranya adalah apakah entitas bergerak sesuai dengan aturan keberangkatan dan kedatangan, apakah model antrian di holding area telah berjalan sesuai aturan yang diterapkan dan apakah aturan separasi telah diterapkan.

Hasil dari validasi animasi ini diperkuat dengan validasi data dan grafis operasional. Metode Validasi data dan grafis operasional dilakukan dengan cara mengamati dinamika tingkah laku dari indikator kinerja model dengan bantuan data dan grafis yang didapatkan selama simulasi berjalan [14].

Dari hasil pengamatan animasi terlihat bahwa entitas menjalani rute kedatangannya sesuai dengan aturan keberangkatan dan kedatangan yang telah ditentukan. Sedangkan dari hasil pengamatan di *holding bay/area* aturan antrian juga telah berjalan sesuai dengan yang diharapkan. Hasil validasi data dan grafis operasional juga terlihat bahwa aturan separasi yang diterapkan telah dijalankan secara tepat oleh model.

3.3 Output Model

Model simulasi yang telah dibangun selanjutnya dijalankan dengan durasi 24 jam. Keluaran juga direkam dalam format *Comma Separated Value* (CSV) yang dapat diolah lebih lanjut menggunakan MICROSOFT EXCEL.



Gambar 6. Jaringan Transportasi yang dimodelkan

3.3.1 Jumlah Penerbangan

Jumlah penerbangan tertinggi dapat ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 2. Jumlah Penerbangan

Bandara	Jumlah Penerbangan
Soekarno-Hatta - CGK	383
Juanda - SUB	160
Sultan Hasanuddin - UPG	80
Ngurah Rai - DPS	77
Adisutjipto - JOG	68
Sultan Aji Muhammad Sulaiman - BPN	68
Kualanamu - KNO	46
Syamsudin Noor - BDJ	34
Hang Nadim- BTH	33
Ahmad Yani - SRG	24

3.3.2 Airborne Holding

Airbone Holding pada 10 bandar udara dapat ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 3. Airborne Holding

Bandara	Airborne Holding
Kualanamu - KNO	15%
Sultan Aji Muhammad Sulaiman - BPN	13%
Sultan Hasanuddin - UPG	11%
Juanda - SUB	9%
Soekarno-Hatta - CGK	7%
Hang Nadim- BTH	6%
Ngurah Rai - DPS	5%
Adisutjipto - JOG	3%
Syamsudin Noor - BDJ	0%
Ahmad Yani - SRG	0%

3.3.3 Ground Holding

Ground Holding pada 10 bandar udara dapat ditunjukkan pada tabel berikut :

Tabel 4. Ground Holding

Bandara	Ground Holding
Juanda - SUB	39%
Soekarno-Hatta - CGK	30%
Adisutjipto - JOG	27%
Sultan Aji Muhammad Sulaiman - BPN	25%
Sultan Hasanuddin - UPG	22%
Syamsudin Noor - BDJ	22%
Ahmad Yani - SRG	19%
Ngurah Rai - DPS	18%
Hang Nadim- BTH	18%
Kualanamu - KNO	13%

3.4 Pembahasan

Melihat Tabel 3 dan 4, persentase *ground holding* di semua bandara lebih tinggi dibandingkan *airborne holding* hal ini dapat terjadi karena lalu lintas kedatangan pesawat udara lebih diprioritaskan dibanding keberangkatan. Jumlah penerbangan yang lebih (Tabel 2) tidak selalu mengakibatkan persentase *holding* yang lebih tinggi. Tingkat persentase holding tidak hanya dipengaruhi oleh jumlah penerbangan tetapi juga dipengaruhi oleh faktor lainnya seperti kapasitas sistem bandara dan pengaturan slot penerbangan. tetapi juga disebabkan oleh fasilitas yang tersedia.

4. Kesimpulan

Penulis telah mengembangkan model simulasi jaringan transportasi udara nasional yang berbasis pada simulasi kejadian diskrit. Model simulasi yang dilengkapi dengan animasi merupakan salah satu metode yang handal dan efektif untuk merepresentasikan dan

menganalisis sistem yang kompleks seperti jaringan transportasi udara nasional.

Model simulasi yang telah dibangun selanjutnya dapat dimanfaatkan guna mengidentifikasi *bottleneck* sistem, memprediksi kebutuhan sarana dan prasarana serta optimasi jaringan transportasi udara nasional

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi yang telah memberikan dukungan finansial terhadap penelitian ini melalui Program Penelitian Hibah Bersaing Tahun 2015 .

Daftar Pustaka

- [1] Francis R. (2004), "Robust Decision-Support Tools for Airport Surface Traffic", Dissertation for Doctor of Philosophy at Massachusetts Institute Of Technology, February 2004.
 - [2] Guida M. and Funaro M., (2007), "Topology of the Italian Airport Network", *Chaos, Solitons & Fractals*, Vol. 31, p.p. 527-536.
 - [3] Guimera R., Mossa S., Turtleschi A. and Amaral L. A. N., (2005), "The worldwide air transportation network, Anomalous centrality, community structure and cities" global roles." *PNAS*. Vol. 2 7794–7799.
 - [4] Gunawan, (2012), "Analisi Kebutuhan dan Pemilihan Tipe Pesawat Terbang Perintis Berdasarkan Prestasi Terbang dan Operating Cost", Perpus STTA, Yogyakarta.
 - [5] Janic M., (2000), "Air Transport System Analysis and Modelling", Gordon and Breach Science Publishers, Amsterdam.
 - [6] Kelton W., Sadowski P. dan Sadowki A., (2007), "Simulation With Arena, Second Edition", Mc Graw Hill.
 - [7] Li W., Chai X., (2004), "Statistical analysis of airport network of China". *Phys. Rev.E*. 69 046106.
 - [8] Malighetti G., Martini G., Paleari S. and Redondi R., (2009), "The Impacts of Airport Centrality in the EU Network and Inter-Airport Competition on Airport Efficiency", MPRA .
 - [9] Medianto R., (2013), "Analisis Prosedur Kedatangan Pada Terminal Airspace Menggunakan Model Simulasi", Tesis pada Program Studi Magister Aeronotika dan Astonotika ITB, Bandung.
 - [10] Monish, D.T., Vaddi, S., Wiraatmadja, S., dan Cheng, V.H.L., (2011) : A Queuing Framework for Terminal Area Operations, AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Portland, Oregon, USA, 1–21.
 - [11] Odoni A.R., Bowman J., Deyst J.J., Feron E., Hansman R.J. dan Kuchar J.K., (1997), "Existing and Required Modeling Capabilities for Evaluating ATM Systems and Concepts, Modeling Research Under NASA/AATT", Final Report, International Center For Air Transportation Massachusetts Institute Of Technology.
 - [12] Pujet N., Delcaire B. dan Feron E., (1999), "Input-Output Modeling And Control Of The Departure Process Of Congested Airports, AIAA Guidance, Navigation and Control Conference, Portland, Oregon. 1–18.
 - [13] Sapre M., (2011), "Topological Analysis of Air Transportation Networks", Master of Science Thesis in Computational Natural Science, Institute of Information Technology Hyderabad, India.
- Sargent, Robert G., (2005), "Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, and J. A. Joines, Eds." 130–143.