

PENGARUH KEPUTUSAN PENINGKATAN KAPASITAS TERHADAP BIAYA DAN KINERJA DI BANDARA SOEKARNO-HATTA

INFLUENCE OF CAPACITY DECISION ON AIRPORT COST AND PERFORMANCE IN SOEKARNO-HATTA AIRPORT

Fadrinsyah Anwar¹⁾ dan Ofyar Z. Tamin²⁾

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132

¹⁾[email: fad.anwar@gmail.com](mailto:fad.anwar@gmail.com)

²⁾[email: ofyar@trans.si.itb.ac.id](mailto:ofyar@trans.si.itb.ac.id)

Diterima: 2 Januari 2014, Revisi 1: 23 Januari 2014, Revisi 2: 6 Februari 2014, Disetujui: 20 Februari 2014

ABSTRAK

Peningkatan trafik angkutan udara yang melebihi kapasitas bandara menyebabkan terjadinya kongesti. Peningkatan kapasitas eksisting bandara guna menangani masalah kongesti melibatkan adanya suatu proses pengambilan keputusan. Keputusan peningkatan kapasitas diharapkan dapat meningkatkan kinerja operasi bandara, namun disisi lain akan membawa konsekuensi berupa timbulnya biaya yang dapat mempengaruhi kinerja keuangan bandara. Terjadinya *trade-off* dalam setiap keputusan kapasitas membutuhkan adanya penilaian terhadap setiap pilihan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari dan memahami bagaimana hubungan antara keputusan peningkatan kapasitas dalam mitigasi masalah kongesti di bandara dengan biaya dan kinerja bandara. Untuk menganalisis hubungan ini digunakan metode jaringan probabilistik. Data yang digunakan berasal dari persepsi manajer di bandara Soekarno-Hatta, yang dikumpulkan melalui instrumen kuesioner. Hasil analisis hubungan kausalitas probabilistik menunjukkan bahwa terdapat hubungan positif antara keputusan peningkatan kapasitas dengan biaya dan kinerja bandara. Adapun keputusan peningkatan kapasitas *curbside* memiliki pengaruh tertinggi terhadap nilai probabilitas peningkatan biaya maupun kinerja bandara.

Kata kunci : kapasitas bandara, kausalitas, jaringan probabilistik.

ABSTRACT

Increasing air transportation traffic that exceeds the airport capacity caused congestion. Increasing the existing airport capacity to mitigate congestion problems involve a decision-making process. The capacity decision is expected to improve the airport operation performance, but on the other hand it cause costs that influence the airport financial performance. For trade-offs in the capacity decision requires an assessment for each option of the capacity improvement. This paper aims to study how the relationship between the capacity decision to increase the airport capacity with the airport cost and performance. To analyze this relationship, we used the probabilistic networks method. The data comes from the perception of managers at Soekarno-Hatta airport, which is collected through a questionnaire. Results of probabilistic causality analysis shows that there is a positive relationship between the capacity decision with the airport cost and performance. The decision of curbside capacity improving is the highest influence on the probability of the increasing of the airport cost and performance.

Keywords : airport capacity, causality, probabilistic network

PENDAHULUAN

Pengguna jasa transportasi udara di Indonesia secara umum terus mengalami peningkatan. Namun peningkatan yang terjadi tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas menyebabkan terjadi permasalahan kongesti. Penanganan masalah

kongesti menjadi penting bagi bandara guna dapat mereduksi terjadinya penundaan pesawat yang diakibatkan padatnya penggunaan landasan, ataupun mengurangi antrian dan kepadatan yang terjadi di terminal penumpang. Tindakan penanganan masalah kongesti bandara melibatkan

proses pengambilan keputusan. Keputusan peningkatan kapasitas diharapkan dapat meningkatkan kinerja operasi bandara, namun disisi lain akan membawa konsekuensi berupa timbulnya biaya yang dapat mempengaruhi kinerja keuangan bandara. Adanya *trade-off* dalam setiap keputusan kapasitas membutuhkan adanya penilaian terhadap setiap pilihan. Penilaian ini berdasarkan pertimbangan (*judgement*) dari pelaku (aktor) yang terlibat dalam proses pengambilan keputusan di bandara.

Pengambil keputusan di bandara sangat berperan dalam meminimalisir permasalahan kongesti yang terjadi. Telah banyak studi yang mengkaji masalah peningkatan atau optimalisasi kapasitas dari fasilitas eksisting. Meskipun demikian pemilihan teknik peningkatan kapasitas sangat ditentukan oleh aktor atau pelaku penentu keputusan dalam hal ini para manajer di bandara. Peran dari pihak penyelenggara dalam menentukan keputusan atau strategi bandara di Indonesia ditegaskan dalam UU No. 1 tahun 2009 tentang penerbangan. Di dalam UU tersebut disebutkan bahwa penyelenggara bandara komersial diberikan tanggung jawab serta kewenangan yang besar untuk menetapkan kebijakan bandara.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari dan memahami bagaimana hubungan antara keputusan peningkatan kapasitas dalam mitigasi masalah kongesti di bandara dengan biaya dan kinerja bandara. Untuk menganalisis hubungan ini digunakan metode jaringan probabilistik atau dikenal dengan Bayesian Network (BN). BN merupakan alat analisis untuk mengeksplorasi hubungan kausalitas dan digunakan untuk menganalisis masalah yang berkaitan dengan ketidakpastian. Dengan memahami hubungan antara keputusan peningkatan kapasitas dengan biaya dan kinerja, maka dapat membantu pengambil keputusan di bandara dalam merumuskan kebijakan dan strategi untuk meminimalisir masalah kongesti bandara yang terjadi.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kapasitas Bandara

Pengertian bandara menurut Undang-Undang No.1 Tahun 2009 tentang Penerbangan adalah kawasan di daratan dan/atau perairan dengan batas-batas tertentu yang digunakan sebagai tempat pesawat udara mendarat dan lepas landas, naik

turun penumpang, bongkar muat barang, dan tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi, yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan dan keamanan penerbangan, serta fasilitas pokok dan fasilitas penunjang lainnya. Bandara merupakan salah satu infrastruktur transportasi yang memiliki berbagai aktivitas baik yang terkait langsung dengan kegiatan penerbangan, maupun kegiatan pendukung lainnya. Banyaknya fasilitas yang terkait dengan kegiatan penerbangan dan banyaknya pihak yang terlibat dalam aktivitas di bandara, membutuhkan adanya suatu pengaturan yang tepat dan terpadu, agar operasional dan efisiensi dapat terjaga. Sebagai fungsi pelabuhan bagi pesawat yang akan berangkat maupun pesawat yang akan mendarat, bandara memiliki banyak sarana atau fasilitas yang memiliki fungsi khusus. Dari sisi kegiatan atau pelayanan yang diberikan, ada dua komponen utama bandara yaitu sisi udara dan sisi darat (Wells & Young, 2004). Kedua komponen ini saling terkait sehingga membutuhkan keseimbangan dan keserasian dalam perencanaannya. Sisi udara merupakan bagian yang terkait dengan kegiatan pergerakan pesawat di bandara, yang terdiri dari beberapa komponen yaitu landasan pacu, landas *holding bay*, landas parkir pesawat dan *gate* (ACRP 79, 2012). Sisi darat adalah fasilitas yang melayani pergerakan penumpang, kargo dan kendaraan. Bagian utama dari sisi darat yang terkait langsung dengan penumpang pesawat adalah terminal penumpang. Senguttuvan (2006) menjelaskan bahwa arus penumpang yang berangkat maupun yang datang melewati beberapa sub sistem yang ada di terminal, yaitu *reservoir*, *prosesor* dan *link*.

Kapasitas bandara adalah jumlah maksimum operasi yang dapat dilayani oleh fasilitas pelayanan dalam periode waktu tertentu (Horonjeff, *et al.*, 2010). Kapasitas bandara, dalam hal ini kapasitas sistem landasan pacu dan fasilitas terminal penumpang sangat dipengaruhi oleh karakteristik pesawat yang menggunakan bandara (Ashford, *et al.*, 2011). (Senguttuvan, 2006) menyebutkan beberapa faktor yang mempengaruhi kapasitas bandara yaitu ruang udara di sekitar bandara, *airfield*, terminal penumpang dan akses kendaraan di darat. *Airfield* merupakan faktor penting dalam menentukan kapasitas pesawat di bandara. Kapasitas *airfield* merupakan ukuran jumlah maksimum operasi pesawat yang dapat diakomodasi oleh komponen bandara dalam satu jam (FAA, 1983). Kapasitas sisi darat khususnya

terminal penumpang dikaitkan dengan kondisi arus penumpang yang dilayani. Kapasitas penumpang di terminal ditentukan oleh waktu proses dan waktu tunggu pada fasilitas-fasilitas yang ada di terminal. Fasilitas-fasilitas yang dimaksud adalah *curbside*, *check-in*, *security screening*, ruang tunggu keberangkatan dan *baggage claim* (Correia & Wirasinghe, 2013). Untuk pengukuran kapasitas digunakan dua kategori ukuran yaitu *maximum throughput rate* (MTR) dan *level of service* (LOS) (Senguttuvan, 2006). MTR adalah rata-rata jumlah permintaan per unit waktu yang dapat diproses pada suatu server pada saat jam sibuk. Sedangkan LOS adalah jumlah permintaan per unit waktu yang dapat diproses sesuai standar LOS yang telah ditentukan.

Kajian kapasitas bandara sendiri pada awalnya lebih didominasi pada kajian terhadap landasan pacu, yang merupakan bagian yang terpenting dari bandara. Permasalahan pokok yang dikaji adalah masalah penundaan pesawat yang terjadi pada saat akan berangkat maupun pada saat akan mendarat. Anderson, *et al.* (2000) membuat model analitik untuk memprediksi kongesti bandara serta melakukan evaluasi untuk peningkatan operasi pesawat di bandara (*ground operation*). Kajiannya menganalisis proses yang terjadi pada landas hubung, *gate*, dan landas parkir pesawat. Faktor-faktor yang dipertimbangkan adalah proses kedatangan (*taxi-in*), proses di darat (*gate turn*) dan proses keberangkatan (*taxi-out*). Roosens (2008) mengkaji masalah kongesti dengan teknik operasional manajemen permasalahan kapasitas bandara seperti trafik yang heterogen, kebisingan, cuaca dan angin. Griffin, *et al.* (2010) mengkaji masalah yang terjadi pada operasi pesawat. Mereka menggunakan model simulasi untuk dapat mengoptimasi operasi pesawat di bandara melalui peningkatan kapasitas dan mengurangi penundaan yang terjadi.

Kajian kapasitas terminal dilakukan melalui pendekatan model analitis dan model simulasi. Hwang (1995) melakukan kajian terhadap *gate* di terminal dengan mengembangkan model simulasi. Faktor-faktor yang dipertimbangkan adalah dimensi pesawat, ruang pejalan kaki, jadwal dan pola kedatangan pesawat, waktu penggunaan *gate* serta lamanya penundaan. Kemudian Yen & Teng (2003) melakukan kajian terhadap kapasitas pelayanan di terminal, dengan mengembangkan model matematik. Tingkat pelayanan diukur berdasarkan ukuran ruang dan data empiris yang digunakan

berasal dari tingkat kepuasan penumpang terhadap ruang tunggu serta kepadatan aktual yang terjadi saat menunggu. Solak, *et al.* (2009) mengembangkan model stokastik untuk melakukan optimasi kapasitas untuk setiap area di terminal. Mereka mengembangkan fungsi waktu untuk menentukan maksimal penundaan di area prosesing dan di lorong pada terminal. Dengan menggunakan fungsi waktu maka dapat ditentukan kapasitas optimal sesuai dengan tingkat pelayanan tertinggi. Model pemrograman stokastik didasarkan representasi jaringan alir multi komoditi yang terjadi di terminal. Selanjutnya (Correia & Wirasinghe, 2013) menjelaskan pemodelan untuk mengukur kinerja *landside*. Mereka menggunakan *Simple Landside Aggregate Model* (SLAM) yaitu model untuk mengukur kapasitas dan mengidentifikasi nilai referensi untuk standar tingkat pelayanan.

B. Biaya Bandara

Faktor penting yang mempengaruhi karakteristik maupun besaran biaya bandara adalah skala ekonomi pengoperasian bandara. Berdasarkan teori ekonomi, ada dua macam biaya yaitu biaya *short-run* dan biaya *long-run*. Sebagaimana dijelaskan oleh Doganis (1992), kedua macam biaya ini sangat dipengaruhi faktor trafik dan kapasitas. Biaya *short-run* adalah biaya berdasarkan tingkat penggunaan kapasitas eksisting. Besaran biaya ini akan turun seiring meningkatnya trafik, dan mencapai tingkat terendah apabila tingkat penggunaan mencapai 100% dari kapasitas yang ada. Namun tingkat biaya tersebut kembali meningkat apabila faktor penggunaan fasilitas melebihi kapasitas yang ada. Sedangkan biaya *long-run* merupakan besaran biaya yang dikaitkan dengan penambahan kapasitas, dimana semakin tinggi trafik akan menurunkan biaya sampai dengan besarnya relatif tetap. ICAO (2006) menjelaskan hal yang terkait dengan biaya-biaya untuk menyelenggarakan suatu bandara. Biaya penyelenggara bandara adalah semua biaya yang dikeluarkan oleh bandara dalam rangka menjalankan kegiatan pelayanan jasa di bandara. Semua biaya-biaya yang terjadi dicatat dengan menggunakan standar akuntansi. Adapun jenis biaya bandara dapat dikelompokkan menjadi biaya operasi dan pemeliharaan, biaya *overhead* administrasi dan biaya modal. Selanjutnya Donganis (1992) menyebutkan adanya perbedaan komposisi biaya antara bandara-bandara di Eropa dan di Amerika. Perbedaan yang paling menyolok adalah biaya pegawai dan biaya modal. Jika bandara-bandara di Eropa pengeluaran yang

terbesar umumnya adalah untuk biaya pegawai, sedangkan bandara-bandara di Amerika pengeluaran terbesarnya adalah untuk biaya modal. Di Indonesia, sebagai contoh Bandara Soekarno Hatta, biaya terbesar yang dikeluarkan pada tahun 2010 adalah untuk biaya operasi dan pemeliharaan, diikuti oleh biaya pegawai (sumber : PT. Angkasa Pura II).

C. Kinerja Bandara

Bagi bandara, hal yang perlu selalu dijaga dalam mengelola bandara adalah terkait dengan kinerja keuangannya. Setiap tindakan atau kebijakan bandara yang diambil senantiasa memperhitungkan aspek biaya dan pendapatan. Kedua aspek ini akan mempengaruhi bagaimana kemampuan bandara dalam menghasilkan keuntungan. Graham (2008) menyebutkan bahwa tingkat profit merupakan salah indikator yang digunakan manajer bandara dalam menentukan efisiensi bandara dalam menggunakan infrastrukturnya. Oleh karenanya peningkatan kapasitas bandara diharapkan dapat meningkatkan pendapatan bandara baik pendapatan yang terkait langsung dengan operasional (*aeronautical-revenue*) maupun pendapatan komersial.

Terjadinya kongesti di bandara dapat menyebabkan terjadinya antrian pesawat pada fasilitas-fasilitas sisi udara. Kepadatan yang terjadi dalam penggunaan landasan pacu dapat menyebabkan antrian pesawat yang akan berangkat untuk melakukan lepas landas. Demikian pula untuk pesawat yang baru mendarat, kondisi kepadatan yang terjadi di area landas parkir pesawat dapat membuat antrian pesawat yang akan parkir. Kondisi-kondisi yang terjadi ini dapat menyebabkan terjadinya penundaan pesawat, yang mana berakibat timbul biaya. Sebagaimana dijelaskan OTA (1984) bahwa penundaan yang terjadi karena pesawat menunggu untuk melakukan lepas landas, mendarat, penggunaan *taxiway* dan *gate* di terminal, dapat meningkat biaya operasi bagi pengguna bandara serta hilangnya waktu akibat menunggu bagi penumpang. Oleh karenanya peningkatan kapasitas yang dilakukan oleh pihak bandara diharapkan dapat mengurangi penundaan yang terjadi di bandara.

Peningkatan kapasitas di terminal merupakan langkah untuk mereduksi kongesti yang terjadi pada fasilitas-fasilitas yang ada, sehingga pengguna jasa dalam hal ini calon penumpang yang akan berangkat maupun penumpang yang baru mendarat dapat dengan lebih cepat terlayani serta

merasa aman dan nyaman. Bagi penumpang pesawat, kualitas pelayanan adalah hal yang paling diperhatikan. Menurut Graham (2008), kualitas pelayanan di bandara dapat diukur dari dua sudut pandang yang berbeda, yaitu indikator objektif dan indikator subjektif. Indikator objektif digunakan untuk mengetahui dan mengukur tingkat pelayanan berdasarkan nilai yang dapat dikuantifikasi, seperti waktu proses *check-in*, luas *service area* di terminal, dan sebagainya. Sedangkan indikator subjektif digunakan untuk mengetahui dan mengukur tingkat pelayanan berdasarkan nilai kualitatif yang berdasarkan persepsi “kepuasan” pengguna jasa terhadap pelayanan yang diterima dari penyelenggara layanan. International Air Transport Association (IATA) telah menerapkan bagaimana suatu perencanaan bandara memperhitungkan parameter tingkat pelayanan, khususnya panjang antrian dan waktu tunggu pada area pelayanan di terminal (Graham, 2008).

Masalah keamanan dan keselamatan merupakan sesuatu yang krusial di dunia penerbangan. Pihak bandara sebagaimana diatur dalam aturan internasional diwajibkan memberikan proteksi yang terbaik bagi penumpang dan pesawat terhadap gangguan keamanan dan keselamatan. Menurut Graham (2008), keamanan bandara adalah kegiatan pencegahan terjadinya kejadian ilegal seperti pembajakan, sedangkan keselamatan bandara merupakan kegiatan untuk menjamin pesawat aman seperti larangan membawa barang berbahaya (*dangerous goods*) ke pesawat dan tidak ada sesuatu yang membahayakan di landasan pacu. Dijelaskan pula bahwa masalah keamanan bandara menjadi lebih ketat sejak kejadian pembajakan 9/11 di Amerika Serikat pada tahun 2001. Dengan adanya kejadian 9/11, masalah keamanan bandara menjadi isu penting bagi dunia penerbangan,

METODOLOGI PENELITIAN

Penyelidikan hubungan kausalitas antara keputusan peningkatan kapasitas dengan biaya dan kinerja bandara akan dilakukan dengan menganalisis jaringan probabilitas yang terbentuk. Konseptual hubungan dibangun berdasarkan konsep perencanaan bandara. Untuk penyediaan fasilitas sesuai kapasitas yang dibutuhkan akan menyebabkan timbulnya biaya yang harus ditanggung oleh pengelola bandara. Bagi bandara masalah timbulnya biaya tersebut akan bermasalah apabila tidak dapat ditutupi oleh tambahan

penerimaan yang diperoleh dengan adanya penambahan kapasitas. Demikian pula dalam menyiapkan tambahan kapasitas, pihak bandara perlu meyakini bahwa hal tersebut akan dapat meningkatkan kinerja bandara. Berdasarkan pemikiran ini disusun konseptual model hubungan yang dijadikan sebagai kerangka kerja dalam



Gambar 1. Konseptual Penelitian

penelitian ini, gambar 1.

A. Variabel-variabel penelitian

Pemilihan variabel-variabel penelitian mengacu kepada literatur-literatur sebagaimana yang telah diuraikan diatas. Untuk keputusan peningkatan kapasitas, digunakan sepuluh indikator sebagai variabel yang diasumsikan mempengaruhi kemampuan bandara dalam melayani kebutuhan pengguna jasa. Indikator-indikator tersebut adalah landasan pacu (*runway*), landas penghubung (*taxi-way*), landas parkir pesawat (*apron*), gerbang (*gate*), pengambilan barang (*baggage-claim*), *curbside*, *check-in*, *security screening*, ruang tunggu keberangkatan (*departure lounge*), dan personil. Tiga indikator pertama merupakan fasilitas sisi udara yang mempengaruhi alir atau pergerakan pesawat. Sedangkan tujuh indikator lainnya merupakan fasilitas atau faktor yang mempengaruhi pergerakan penumpang di terminal penumpang.

Untuk biaya bandara, digunakan tiga indikator sebagai variabel yang diasumsikan dapat dipengaruhi oleh keputusan peningkatan kapasitas. Ketiga indikator tersebut adalah biaya pegawai (*staff cost*), biaya operasi dan pemeliharaan (*operational & maintenance cost*), serta biaya modal (*capital cost*).

Untuk kinerja bandara, digunakan empat indikator yang diasumsikan sebagai variabel hasil (*outcome*) yang dipengaruhi keputusan peningkatan kapasitas. Keempat indikator tersebut adalah : profit bandara, penundaan (*delay*), tingkat pelayanan (LOS), keamanan dan keselamatan (*safety-security*). Indikator pertama menyangkut kinerja keuangan bandara, sedangkan tiga indikator lainnya menyangkut kinerja operasional bandara.

B. Jenis dan Sumber Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang dikumpulkan melalui instrumen kuesioner. Tujuan yang diharapkan

dalam pengumpulan data ini adalah untuk memperoleh persepsi kondisional dari manajer bandara terkait peningkatan kapasitas bandara guna menangani masalah kongesti di bandara. Adapun lokasi survei adalah bandara Soekarno-Hatta, yang merupakan bandara komersil terbesar di Indonesia dan memiliki permasalahan kongesti. Teknik sampling yang digunakan adalah *sampling purposive*, yaitu teknik penentuan sampel dengan pertimbangan tertentu (Sugiyono, 1999). Responden dalam survei adalah manajer/pakar yang terkait dengan proses penyusunan strategi dan kebijakan peningkatan kapasitas bandara Soekarno-Hatta, yaitu dibidang perencanaan, teknik/operasional, bisnis/komersial dan keuangan/akuntansi. Respon yang diharapkan adalah suatu penilaian berdasarkan jawaban subjektif. Kuisisioner yang disusun menggunakan bentuk pertanyaan tertutup. Pertanyaan-pertanyaan disusun mengacu kepada operasionalisasi variabel-variabel penelitian. Skala penilaian yang digunakan dalam kuisisioner menggunakan skala *linkert*. Skala *linkert* digunakan untuk mengukur persepsi seseorang tentang suatu fenomena yang terumuskan dalam variabel penelitian (Sugiyono, 1999). Skala *linkert* yang digunakan adalah 1, 2, 3, 4, 5, yang menggambarkan tingkat peranan atau pengaruh dari variabel.

C. Metode Analisis

Dalam proses pengolahan data, model statistik yang digunakan untuk menganalisis data persepsi adalah model jaringan probabilistik atau Bayesian Network (BN). BN merupakan metode analisis yang menggabungkan antara teori grafis dan probabilistik. Penggambaran hubungan antara variabel-variabel dalam penelitian ini menggunakan konsep *data mining*, dimana formasi hipotesis dibentuk melalui model hubungan kausalitas yang dibangun. Proses membangun jaringan probabilistik meliputi pembelajaran struktur dan pembelajaran parameter. Pembelajaran struktur dimaksudkan untuk membangun jaringan probabilistik hubungan kausalitas berdasarkan data. Struktur jaringan dibangun berdasarkan tes independen bersyarat terhadap variabel-variabel yang ada Pada penelitian ini, pembelajaran struktur menggunakan algoritma BN Power Constructor (BNPC), sebagaimana yang dijelaskan oleh (Cheng dkk, 2002) sebagai berikut. Proses diawali dengan menetapkan informasi variabel-variabel berdasarkan pengetahuan domain. Disini ditetapkan urutan (*ordering*) variabel guna menunjukkan tingkat ketergantungan serta

menetapkan hubungan terlarang (*forbidden link*) diantara variabel. Selanjutnya berdasarkan algoritma, dihitung informasi timbal balik dari pasangan *node* (persamaan 1) guna mendapatkan ukuran kedekatan, yang dilanjutkan dengan membuat grafik hubungan antar *node*. Kemudian, dengan uji independensi bersyarat (persamaan 2), *arc* akan ditambahkan pada pasangan *node* yang bukan independensi bersyarat.

$$I = (X_i, X_j) = \sum_{x_i, x_j} P(x_i, x_j) \log \frac{P(x_i, x_j)}{P(x_i)P(x_j)} \dots\dots (1)$$

$$I(X_i, X_j | C) = \sum_{x_i, x_j, c} P(x_i, x_j, c) \log \frac{P(x_i, x_j | c)}{P(x_i | c)P(x_j | c)} \dots\dots (2)$$

Hubungan antar node selanjutnya di cek kembali untuk memastikan jaringan sudah terkoneksi dengan baik. Apabila masing terdapat *eksklusif node* atau kumpulan node yang terpisah dari hubungan node utama, maupun apabila masih terdapat *missing node* atau node yang tidak memiliki hubungan dengan node lainnya, maka proses diulang kembali dengan melakukan pemeriksaan informasi variabel (pengetahuan domain). Hasil akhir proses pembelajaran struktur adalah Struktur Grafik Berarah. Hubungan antar node ini selanjutnya digunakan dalam proses pembelajaran parameter guna menentukan nilai probabilitas bersyarat dari masing-masing node. Pembelajaran parameter dimaksudkan untuk menentukan nilai probabilitas bersyarat (*conditional probability*) dari hubungan antara dua node atau lebih. Parameter dari masing-masing node ditentukan berdasarkan data dan struktur jaringan yang telah terbentuk dari proses pembelajaran struktur. Estimasi perhitungan parameter menggunakan konsep *maximum likelihood*. Hasil akhir proses pembelajaran parameter adalah tabel probabilitas bersyarat dari masing-masing node. Khusus untuk node yang tidak memiliki *parent*, bentuknya adalah tabel probabilitas marjinal.

Analisis dilakukan terhadap jaringan hubungan kausalitas yang terbangun melalui penarikan kesimpulan (inferensi) probabilistik dengan menggunakan teori probabilitas dan bayesian. Pada penelitian ini, bentuk inferensi probabilistik yang dilakukan adalah analisa pengaruh (*causal reasoning*). Pada analisa pengaruh, akan dikaji hubungan antara variabel-variabel dalam satu faktor dengan variabel-variabel faktor lainnya. Inferensi probabilistik dilakukan melalui pemberian bukti pada variabel yang termasuk dalam kelompok faktor penyebab dan melihat bagaimana

perubahan yang terjadi pada variabel yang termasuk dalam faktor gejala/akibat. Pemberian bukti atau informasi yang diperbarui dilakukan dengan memberikan nilai probabilitas 1,0 pada tingkat tertinggi (*high*) untuk setiap variabel penyebab. Dengan adanya informasi baru dari variabel penyebab, maka akan dilakukan analisis terhadap perubahan yang terjadi pada variabel gejala/akibat. Hasil analisis ini digunakan untuk mengkaji hubungan variabel-variabel diantara dua faktor. Rumus yang digunakan untuk menentukan perubahan atau proyeksi probabilitas adalah sebagai berikut :

$$P(X) = \sum P(X, Y) \dots\dots\dots (3)$$

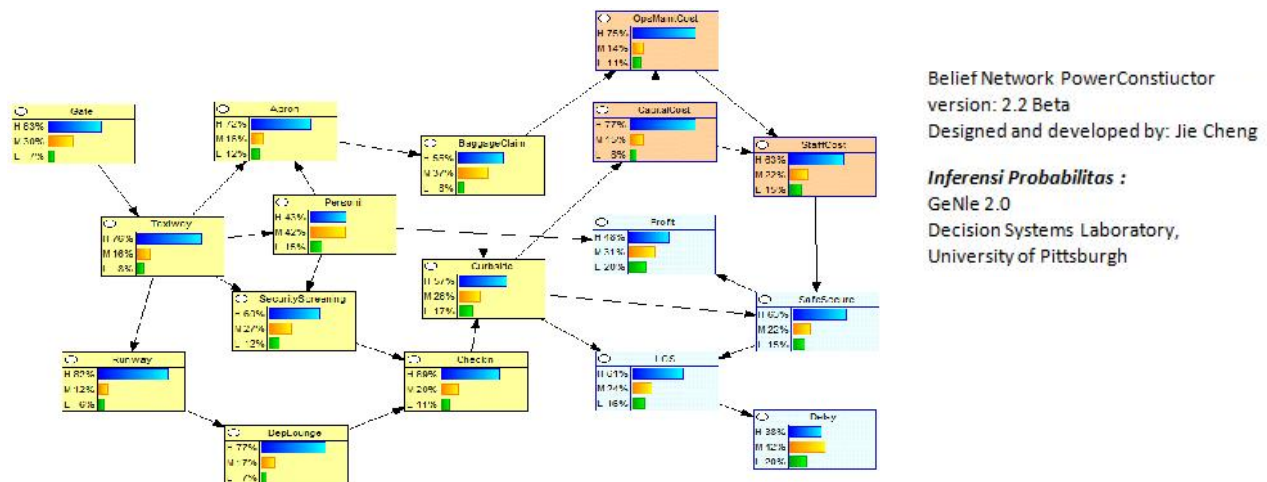
$$P(X_1, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i | \text{parents}(X_i)) \dots\dots\dots (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil proses pembelajaran struktur mendapatkan jumlah hubungan antar node yang ditunjukkan oleh banyaknya *arc* sebanyak 25 buah. Hubungan antar node ini selanjutnya digunakan dalam proses pembelajaran parameter guna menentukan nilai probabilitas bersyarat dari masing-masing node. Hasil proses pembelajaran parameter adalah tabel probabilitas bersyarat dari masing-masing node. Nilai probabilitas yang ditampilkan tersebut menunjukkan probabilitas gabungan dari node dan *parent* nodenya. Untuk melakukan penarikan kesimpulan (inferensi) probabilitas dari jaringan hubungan kausalitas yang telah terbentuk ini, perlu ditentukan nilai probabilitas marjinal dari masing-masing node. Perhitungan probabilitas marjinal atau proyeksi menggunakan rumus probabilitas total (persamaan 3.). Bentuk akhir model jaringan hubungan kausalitas yang merupakan bentuk jaringan probabilistik dapat dilihat pada gambar 1. Berdasarkan jaringan probabilistik yang terbentuk, terlihat bahwa keputusan peningkatan kapasitas yang memiliki hubungan langsung dengan biaya adalah *baggageclaim* dan *curbside*. Adapun hubungan langsung keputusan peningkatan kapasitas terhadap kinerja dimiliki oleh variabel *personil* dan *curbside*. Selain variabel-variabel tersebut, keputusan peningkatan kapasitas lainnya memiliki hubungan tidak langsung dengan biaya maupun kinerja. Variabel-variabel yang memiliki hubungan langsung menunjukkan adanya pengaruh langsung, dengan demikian memiliki keterkaitan yang lebih tinggi dibandingkan dengan variabel-variabel yang tidak memiliki hubungan

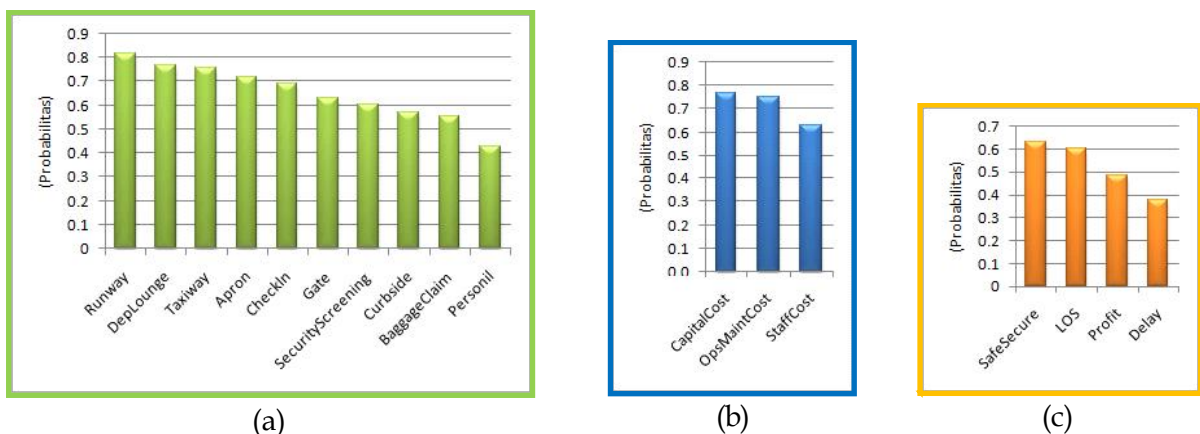
langsung. Selanjutnya berdasarkan deskriptif probabilitas variabel dari masing-masing kelompok dapat dijelaskan sebagaimana uraian berikut. Variabel yang paling signifikan yang dipercaya berperan penting terhadap peningkatan kapasitas bandara (gambar 2a) adalah *runway*, dimana memiliki nilai probabilitas 0,817. Hal ini menjelaskan bahwa meningkatkan kemampuan landasan pacu di Bandara Soekarno Hatta merupakan hal yang prioritas untuk dilakukan. Kelancaran pesawat yang akan berangkat maupun mendarat menjadi sangat penting guna menghindari terjadinya kongesti di sisi udara, terutama pada jam-jam sibuk. Selanjutnya variabel-variabel lain yang memiliki nilai probabilitas lebih dari 0,7 adalah *departure lounge* (0,767), *taxiway* (0,759) dan *apron* (0,718). Ketiga fasilitas ini juga dipercaya memiliki peran penting setelah peningkatan kapasitas *runway*. Adapun variabel yang memiliki nilai probabilitas terendah adalah *personil* (0,429). Berikutnya adalah perubahan unsur-unsur biaya sebagai konsekuensi adanya keputusan

peningkatan kapasitas (gambar 2b). Variabel yang dipercaya paling signifikan meningkat adalah *capital cost*, yang memiliki nilai probabilitas 0,770. *Operational & maintenance cost* memiliki nilai probabilitas sedikit lebih rendah yaitu 0,749. Adapun *staff cost* memiliki nilai probabilitas yang paling rendah yaitu 0,632. Ketiga variabel biaya meskipun nilai probabilitasnya berbeda satu sama lain, namun relatif memiliki selisih yang kecil. Hal ini dapat menjelaskan bahwa ketiga variabel akan memiliki karakteristik yang hampir sama sehingga memiliki potensi peningkatan dengan proporsi yang hampir sama. Selanjutnya, kinerja bandara yang dipercaya paling meningkat dengan adanya keputusan peningkatan kapasitas adalah *safety & security* di bandara dimana tingkat probabilitasnya adalah 0,634. Sedikit di bawahnya adalah tingkat pelayan (LOS) di terminal (0,605). Dua indikator kinerja lainnya yaitu profit bandara dan penundaan pesawat memiliki tingkat probabilitas di bawah 0,50. Perbedaan tingkat probabilitas dari ke empat variabel kinerja ini dapat dilihat pada gambar 2c.



Sumber: Diolah, dengan Believe Network Construction (Pembelajaran struktur & Parameter) dan Genie (Inferensi Probabilistik)

Gambar 2. Jaringan Probabilistik

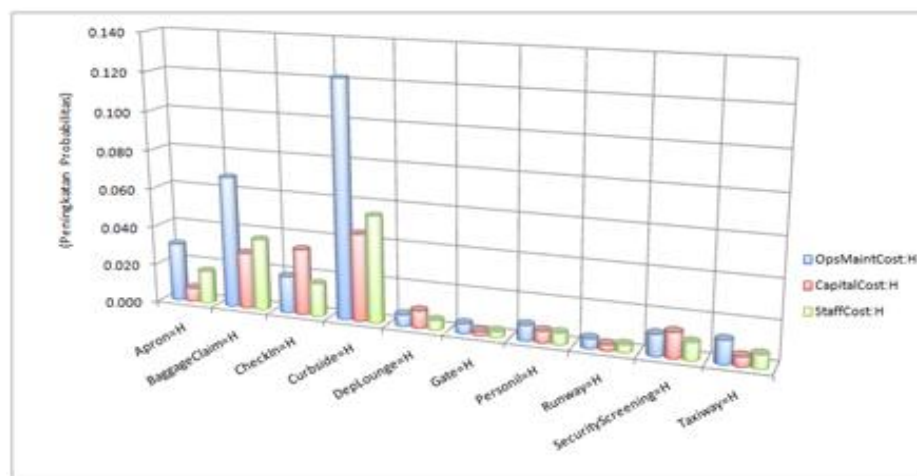


Sumber: Hasil Olahan

Gambar 3. Deskriptif Probabilitas Variabel

Analisis pengaruh merupakan konsep penalaran yang bersifat *top-down*, dimana bukti (*evidence*) diberikan pada variabel kausal. Kajian hubungan antara keputusan peningkatan kapasitas dengan biaya dan kinerja bandara dijelaskan melalui analisis pengaruh dari variabel-variabelnya. Untuk melakukan analisis pengaruh keputusan peningkatan kapasitas terhadap biaya, pemberian bukti (*evidence*) dilakukan dengan memberikan nilai probabilitas 1,0 pada tingkat tertinggi (*high*) untuk setiap variabel dalam kelompok keputusan peningkatan kapasitas. Hasil perhitungan peningkatan probabilitas yang terjadi pada biaya disampaikan pada gambar 3. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa variabel keputusan peningkatan kapasitas yang memiliki pengaruh tertinggi terhadap peningkatan biaya adalah *curbside* ! *opsmaintcost*, dimana peningkatan nilai

probabilitasnya adalah 0,122. Berikutnya adalah *baggageclaim* → *opsmaintcost*(0,068) dan *curbside* → *staffcost* (0,055). Tingginya pengaruh variabel-variabel tersebut disebabkan oleh adanya hubungan langsung (*dependen*) sebagaimana tergambar pada jaringan probabilistik yang terbentuk (gambar 1). Variabel-variabel keputusan peningkatan kapasitas yang tidak memiliki hubungan langsung (*independen*) dengan biaya namun peningkatan probabilitas cukup tinggi adalah *check-in* dan *apron*. Selanjutnya apabila kenaikan-kenaikan probabilitas yang terjadi dirata-ratakan, maka terlihat bahwa *curbside* merupakan variabel yang paling mempengaruhi variabel-variabel dalam kelompok biaya dengan nilai rata-rata kenaikan sebesar 0,074. Sedangkan variabel biaya bandara yang paling dipengaruhi variabel-variabel dalam kelompok keputusan kapasitas adalah *opsmaintcost*.



Sumber: Hasil Olahan

Gambar 4. Pengaruh Peningkatan Kapasitas Terhadap Biaya

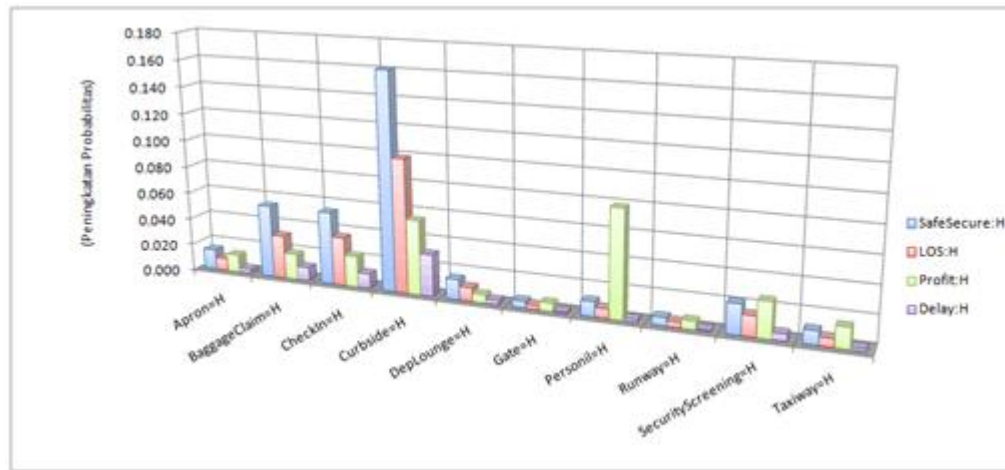
Analisis pengaruh keputusan peningkatan kapasitas terhadap kinerja bandara dilakukan dengan memberikan bukti (*evidence*) dengan memberikan nilai probabilitas 1,0 pada tingkat tertinggi (*high*) untuk setiap variabel dalam kelompok keputusan peningkatan kapasitas. Hasil perhitungan peningkatan probabilitas yang terjadi pada kinerja disampaikan pada gambar 4. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa variabel keputusan peningkatan kapasitas yang memiliki pengaruh tertinggi terhadap peningkatan kinerja adalah *curbside* → *safety & security*, dimana peningkatan nilai probabilitasnya adalah 0,161. Berikutnya adalah *curbside* → *level of service*(0,099) dan *personil* → *profit* (0,079). Tingginya pengaruh variabel-variabel tersebut disebabkan oleh adanya hubungan langsung sebagaimana tergambar pada jaringan probabilistik. Meskipun tidak memiliki

hubungan langsung dengan kinerja, keputusan peningkatan kapasitas *check-in* dan *baggage claim* menyebabkan peningkatan probabilitas cukup tinggi. Selanjutnya apabila kenaikan-kenaikan probabilitas yang terjadi dirata-ratakan, maka terlihat bahwa *curbside* merupakan variabel yang paling mempengaruhi variabel-variabel dalam kelompok kinerja dengan nilai rata-rata kenaikan sebesar 0,115. Berikutnya adalah *check-in* (0,041), *baggage claim* (0,038), dan *personil* (0,033). Adapun variabel kinerja bandara yang paling dipengaruhi variabel-variabel dalam kelompok keputusan kapasitas adalah *safety & security*.

Berikutnya adalah analisis menyangkut perbandingan antara peningkatan biaya dan kinerja bandara yang terjadi sebagai akibat adanya keputusan peningkatan kapasitas. Berdasarkan nilai rata-rata peningkatan probabilitas yang terjadi,

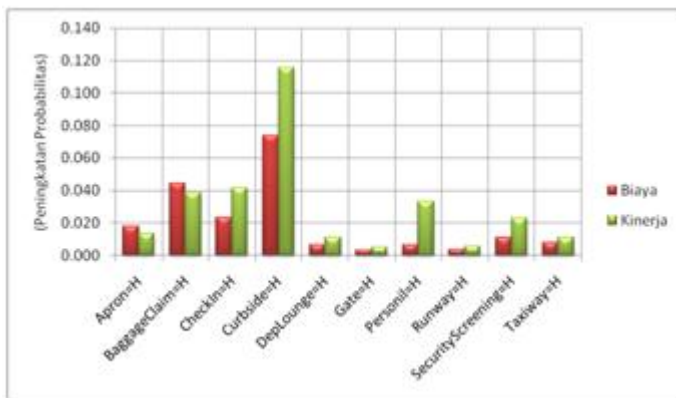
peningkatan kapasitas *curbside* merupakan variabel tertinggi dalam hal meningkatkan biaya maupun kinerja. Adapun yang terendah adalah *gate*. Jika dibandingkan antara peningkatan kinerja dengan peningkatan biaya, terdapat dua variabel yang

memiliki nilai minus (biaya > kinerja) yaitu peningkatan kapasitas *apron* dan *baggage claim*. Penjelasan perbandingan antara peningkatan biaya dengan peningkatan kinerja selengkapnya dapat dilihat pada gambar 5.

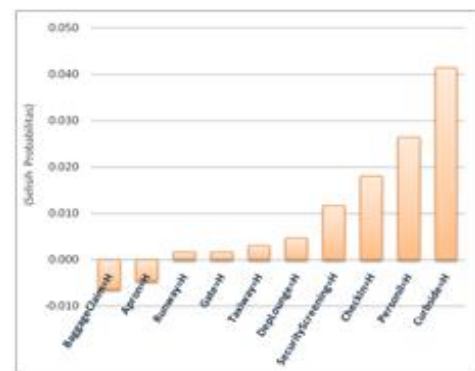


Sumber: Hasil Olahan

Gambar 5. Pengaruh Peningkatan Kapasitas Terhadap Kinerja



(a)



(b)

Sumber: Hasil Olahan

Gambar 6. Perbandingan Peningkatan Biaya dan Kinerja

KESIMPULAN

Berdasarkan persepsi manajer yang terkait dalam proses pengambilan keputusan di bandara, variabel yang dipercaya berperan penting (tingkat probabilitas lebih dari 0,7) terhadap peningkatan kapasitas bandara adalah *runway*, *departure lounge*, *taxiway* dan *apron*. Keputusan peningkatan kapasitas ini dipercaya juga akan meningkatkan biaya bandara. Peningkatan biaya yang paling tinggi probabilitas meningkatnya adalah *capital cost*. Adapun kedua jenis biaya lainnya yaitu *operational & maintenance cost* serta *staff cost* memiliki nilai probabilitas sedikit di bawah *capital cost*. Selanjutnya, kinerja bandara yang dipercaya pal-

ing meningkat dengan adanya keputusan peningkatan kapasitas adalah *safety & security* di bandara, diikuti dengan tingkat pelayanan (LOS) di terminal, profit bandara dan penundaan pesawat.

Analisis hubungan kausalitas menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas *curbside* merupakan variabel tertinggi dalam hal meningkatkan biaya maupun kinerja. Jika dibandingkan antara peningkatan kinerja dengan peningkatan biaya, terdapat dua variabel yang memiliki nilai minus (biaya > kinerja) yaitu peningkatan kapasitas *apron* dan *baggage claim*, sedangkan delapan variabel lainnya memiliki nilai positif (kinerja > biaya).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktur Utama PT. Angkasa Pura II beserta para manajer dan staf yang telah memberikan bantuan atas terlaksananya survei pengumpulan data, serta memberikan saran dan masukan yang bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- Airport Cooperative Research Program Report 76 (ACRP 76), 2012, *Addressing Uncertainty about Future Airport Activity Levels in Airport Decision Making*, Transportation Research Board.
- Andersson, Kari; Carr, Francis; Feron, Eric; Hall, William D., 2000, *Analysis and Modeling of Ground Operations at Hub Airports*, 3rd USA/Europe Air Traffic Management R&D Seminar.
- Ashford, Norman J.; Mumayiz, Saleh; Wright, Paul H., 2011, *Airport Engineering Planning, Design, and Development of 21st Century Airports*, John Wiley & Sons, Inc.
- Cheng, Jie; Greiner, Russell; Kelly, Jonathan; Bell, David; Liu, Weiru, 2002, *Learning Bayesian Networks From Data: An Information-Theory Based Approach*, *Artificial Intelligence* 137, pp. 43-90.
- Correia, Anderson Ribeiro; Wirasinghe, S. C., 2013, "Modeling Airport Landside Performance", in *Modelling and Managing Airport Performance*, eds. Konstantinos G Zografos., Andreatta Giovanni& Amedeo R.Odoni, John Wiley & Sons, Ltd.
- Doganis, R.. 1992. *The Airport Business*. Routledge, London.
- Federal Aviation Administration (FAA), 1983, *Airport Capacity and Delay*, Advisory Circular AC:150/5060-5.
- Griffin, Katy J.; Yu, Peter; Rappaport, David B., 2010, *Evaluating Surface Optimization Techniques Using a Fast-time Airport Surface Simulation*, 10th AIAA Aviation Technology, Integration, and Operations (ATIO) Conference.
- Graham, Anne, 2008, *Managing Airports: An International Perspective*, Elsevier
- Horonjeff, Robert; McKelvey, Francis X.; Sproule, William J.; Young, Seth B., 2010, *Planning and Design of Airports*, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Hwang, Kevin P., 1995, *A Simulation Model For Airport Gate Assignment*, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 1, No. 1., pp. 187-202.
- International Civil Aviation Organization (ICAO), 2006, *Airport Economics Manual 2nd edition*.
- Office of Technology Assessment (OTA), 1984, *Airport System Development*, U.S. Congress, Washington D.C
- Roosens, Paul, 2008, *Congestion and Air Transport: a challenging phenomenon*, *EJTIR*, 8, no. 2, pp. 137-146
- Senguttuvan, P.S., 2006, *Economics of the Airport Capacity System in the Growing Demand of Air Traffic - A Global View*
- Solak, Senay; Clarke, John-Paul B.; Johnson, Ellis L., 2009, *Airport Terminal Capacity Planning*, *Transportation Research Part B* 43, pp. 659-676
- Sugiyono, 1999, *Metode Penelitian Bisnis*, CV Alfabeta, Bandung.
- Wells, Alexander T.; Young, Seth B., 2004, *Airport Planning & Management*, McGraw-Hill
- Yen, Jin-Ru; Teng, Chung-Hsiang, 2003, *Effects of Spatial Congestion on the Level of Service at Airport Passenger Terminals*.