

Penerapan Konsep Penjadwalan pada Sistem Pendukung Keputusan Maskapai Penerbangan

Aurelia H B Matondang - 13510023¹

Program Sarjana Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

¹13510023@stei.itb.ac.id

Abstrak — Dalam aplikasi teori graf, dikenal beberapa aplikasi yang membahas dan menyelesaikan persoalan penjadwalan. Penjadwalan dalam aplikasi tersebut berfokus kepada bagaimana mengalokasikan sebuah sumber daya dalam kurun waktu yang tidak saling beririsan dengan waktu lainnya. Salah satu teori yang membahas ini adalah teori pewarnaan graf. Pada perkembangannya, teori tersebut diadaptasi dalam berbagai industri, salah satunya industri transportasi udara. Dengan menggunakan konsep tersebut dan digabungkan dengan konsep-konsep yang terdapat di industri tersebut diperoleh beberapa model yang dapat menyelesaikan persoalan dengan spesifikasi yang khusus. Pada makalah ini akan dibahas beberapa model dan konsep yang telah ditemukan dan digunakan dalam industri penerbangan. Dari model dan konsep tersebut dapat terlihat bahwa setiap model dikhususkan untuk menangani sebuah kondisi di maskapai penerbangan. Ada model yang menangani proses penjadwalan untuk masalah delay yang sifatnya dinamis, ada juga model yang melakukan penjadwalan berdasarkan analisis dari kebutuhan dari calon penumpang, dan sebagainya. Melalui penjelasan model tersebut, diharapkan bertambahnya pengetahuan tentang adaptasi konsep dari penjadwalan dalam sebuah industri, khususnya industri transportasi udara.

Kata kunci — *scheduling, TALLOC, passenger behavior function, graph coloring*

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang sebagian besar daerahnya terdiri dari lautan. Hal ini membuat variasi transportasi antar daerah juga semakin besar. Industri transportasi mengalami perkembangan yang pesat dalam kurun waktu sepuluh tahun terakhir. Banyak maskapai penerbangan komersial baru yang siap untuk melayani calon penumpang. Agar bisa bersaing dengan maskapai penerbangan lainnya, sebuah maskapai penerbangan harus dapat melayani kebutuhan calon penumpang. Beberapa kebutuhan dari calon penumpang adalah ketepatan waktu dan tersedianya rute yang dibutuhkan oleh penumpang.

Penentuan rute merupakan salahsatu strategi pengembangan bisnis maskapai penerbangan yang dipercaya dapat memenuhi kebutuhan calon penumpang

dan juga perusahaan. Untuk mendukung proses pengembangan bisnis ini, banyak perusahaan bekerja sama dengan perusahaan pengembang perangkat lunak untuk membangun sebuah sistem pendukung keputusan (*Decision Support System*). Dengan sistem ini, pihak manajerial berharap proses pengambilan keputusan dapat menjadi lebih mudah dilakukan. Dalam sistem ini, proses perancangan rute operasional menjadi fitur utama. Tidak hanya merancang rute yang baru, tetapi juga menganalisis rute yang telah beroperasi sebelumnya.

Proses penentuan rute maskapai penerbangan meliputi tahap perencanaan jadwal pelayanan, tahap pembentukan jadwal operasional yang sesuai, penentuan sumberdaya yang spesifik dengan kebutuhan rute, dan tahapan eksekusi hasil proses penjadwalan itu sendiri. Tahapan pembentukan jadwal operasional yang sesuai akan menghasilkan jadwal operasional maskapai penerbangan yang sesuai, dengan asumsi sumberdaya telah tersedia sesuai dengan jadwal yang akan dihasilkan.

Proses penjadwalan (*scheduling*) yang dipelajari dalam teori graf, salah satunya adalah *traveler salesman problem* tidak mampu menyelesaikan permasalahan ini. Hal ini disebabkan banyaknya faktor yang harus dipertimbangkan oleh perancang rute. Sehingga, nantinya rute yang dihasilkan dapat menghasilkan keuntungan bagi perusahaan dan membantu tercapainya tujuan perusahaan itu sendiri.

Makalah ini berisi tentang beberapa model dan *framework* yang digunakan di beberapa sistem pendukung keputusan dalam proses perancangan rute maskapai penerbangan.

II. PEWARNAAN GRAF DALAM PENJADWALAN PESAWAT TERBANG

Sebuah graf G *k-colouring* adalah sebuah *assignment* dari bilangan integer $\{1,2,3,\dots,k\}$ ke simpul di G dimana simpul yang bertetangga akan mendapatkan angka integer yang berbeda. Bilangan kromatik dari G adalah k terkecil dimana G memiliki *k-colouring*. Sayangnya, penentuan angka kromatik dari sebuah graf adalah sebuah permasalahan NP yang sulit, dimana untuk graf yang

besar penyelesaiannya akan menjadi tidak efisien. Oleh karena itu, ketika kita membentuk sebuah model untuk penjadwalan, ada dua hal yang perlu dipertimbangkan. Pertama, terdapat kemungkinan bahwa graf tersebut memiliki struktur yang khusus yang memudahkan pewarnaan menjadi lebih mudah. Selanjutnya, jikatidak ada algoritma yang efisien untuk masalah pewarnaan, maka kita bisa menggunakan algoritma proksimasi yang hasilnya tidak optimal namun memiliki performansi yang menjamin kualitas dari produk yang dihasilkan.

Dalam persoalan penjadwalan pesawat terbang, kita asumsikan bahwa kita memiliki k pesawat, dan kita harus daftarkan/pasangkan ke n penerbangan, dimana penerbangan ke- i berada dalam interval waktu (a_i, b_i) . Jika terdapat dua penerbangan yang *overlap*, maka kita tidak dapat mendaftarkan pesawat yang sama untuk kedua jadwal penerbangan. Simpul dari graf yang “bermasalah” tersebut menyatakan penerbangan, dua simpul terhubung jika interval waktunya *overlap*. Oleh karena itu, graf tersebut merupakan graf interval yang dapat diwarnai secara optimal dalam waktu yang polinomial.

III. PERANCANGAN JADWAL UNTUK PENERBANGAN IRREGULER DENGAN BERDASARKAN KEPADA TEORI KETIDAKPASTIAN YANG ADA DI LAPANGAN

A. Pembentukan Model

Proses penjadwalan maskapai penerbangan merupakan masalah yang dinamis, dapat berubah-ubah dalam sebuah rentang waktu. Lingkup masalah yang dinamis inilah yang menyebabkan masalah yang sering terjadi di sebuah maskapai penerbangan. Berdasarkan hasil penelitian di Unversity of China, beberapa teknik pencarian untuk meminimalisasikan total menit penundaan sebuah jadwal penerbangan tidak menjawab kebutuhan dari operasional dari maskapai penerbangan dikarenakan banyaknya faktor-faktor ketidakpastian yang terdapat di lapangan. Durasi penerbangan tidak tetap tidak dapat dianalisis dengan data yang ada dan tidak dapat diselesaikan dengan pemrograman stokastik. Tapi, dengan menggunakan pertolongan dari ahli untuk memberikan perkiraan durasi, kemudian dengan menerapkan teori ketidakpastian dengan premis yang baik, diharapkan dapat memberikan model yang dapat menyelesaikan permasalahan ini (Mou & Zhao, 2013).

Pada keadaan sebenarnya, faktor yang menyebabkan penerbangan menjadi irreguler tidak dapat dikontrol. Terutama ketika cuaca buruk dan terjadi kerusakan di pesawat, durasi lamanya cuaca dan kerusakan tidak dapat diprediksi karena kurangnya data dalam kondisi tersebut (stokastik). Berikut adalah notasi yang digunakan untuk menghasilkan formulasi matematika.

Indices, Sets, and Parameters

- f : index for set of flights F
- s : index for set of airports S
- i : index for set of types of aircrafts I
- I : set of types of aircrafts
- F : set of flights
- S : set of airports
- A : set of available aircrafts
- t_i : ready time of aircraft i
- t_i^d : planning departure time of flight f
- t_i^a : planning arrival time of flight f
- t_i^f : uncertain delay time of flight f executed by type i of aircraft, $t_i^f \sim \varphi_i(t)$, $i \in A$
- p_f^b, p_f^e : reservation number of business and economy class in flight f
- q_f^b, q_f^e : fare of a ticket of business and economy class in flight f
- n_f : total reservations of flight f
- u : disappointment rate of passengers
- u : losses value of passengers per minute
- p_f^f : delay loss of flight f executed by aircraft i , $p_f^f = wn_f t_i^f$, when $t_i^f > 0$, or $= 0$
- P_f : cost of canceling flight f
- β : airport usage charge per minute
- γ : cost of depreciation of aircraft per minute
- c_f^f : delay cost of flight f executed by aircraft i
- c_0^f : estimated cost of flight f
- $C^f = (c_i^f), C_0 = (c_0^f)$
- α_0 : confidence level
- k : weight of cost of cancelling flight
- x_i^f : binary variable, = 1 if flight f is executed by aircraft i and 0 otherwise
- y_f : binary variable, = 1 if flight f is canceled and 0 otherwise.

Gambar 1 Indeks, Set dan Parameter yang Terlibat (Mou & Zhao, 2013)

Dengan mengintegrasikan dua buah model menjadi satu dan kemudian mengintegrasikan biaya estimasi dan total menit dari *delay*, maka dihasilkan model berikut (Mou & Zhao, 2013):

$$\begin{aligned}
 (1) \quad & \min E \left\{ \sum_{f \in F} \sum_{i \in A} x_i^f p_i^f + \sum_{f \in F} k n_f y_f \right\}, \\
 (2) \quad & \text{s.t. } \mathcal{M} \{ C^f(\mathbf{x}, t^f) < C_0 \} \geq \alpha_0, \\
 (3) \quad & \sum_{i \in A} x_i^f + y_f = 1, \quad \forall f \in F, a, d \in S, \\
 & c_i^f = \{ x_i^f (p_f^e \times q_f^e + p_f^b \times q_f^b) \times u \\
 (4) \quad & \quad \quad \quad + (\beta + \gamma) t_i^f + p_f y_f \}, \\
 & \quad \quad \quad y_f = 1 - x_i^f, \\
 (5) \quad & \sum_{f \in F} x_i^f \leq 1, \quad \forall i \in A, \\
 (6) \quad & x_i^f \in \{0, 1\}, \quad y_f \in \{0, 1\}.
 \end{aligned}$$

Tujuan dari fungsi (1) adalah untuk meminimasi total menit dari *delay* penumpang, sebelumnya menit *delay* bergantung pada penerbangan irreguler, setelahnya adalah menit *delay* yang ekivalen bergantung pada penerbangan yang dibatalkan. Fungsi (2) adalah konstrain dari biaya yang diestimasi. Fungsi (3) menjelaskan sebuah jadwal penerbangan, baik yang pernah dioperasikan atau yang

dibatalkan. Fungsi (4) adalah biaya *delay* penerbangan f yang dilakukan oleh penerbangan i . Fungsi (5) mengalokasikan tidak lebih dari satu pesawat ke penerbangan f . Fungsi (6) adalah konstrain integer bernilai 0-1.

B. Metode Solusi dan Kompleksitas

1. Metode Solusi

Pada model terdapat dua buah variabel keputusan. Untuk menyelesaikan masalah ini, digunakan algoritma *stepwise-delay*. Prosedur algoritma *stepwise-delay* adalah sebagai berikut:

Langkah-1. Berdasarkan informasi penundaan, didapatkan jadwal penerbangan sebagai YW .

Langkah-2. Susun penerbangan yang ditunda berdasarkan waktu keberangkatan awal (dari jadwal penerbangan yang ditunda) dan lakukan pencarian bandara dimana penundaan terjadi. Dalam periode *delay* tertentu, kita ambil nomor serial dari pesawat melalui bandara, kemudian di salin ke dalam tabel CH .

Langkah-3. Mencari pesawat yang dapat digunakan di bandara yang terjadi *delay*, sebuah tabel permutasi waktu T didapatkan dari konstrain $\Phi^{-1}(x, \alpha) < C_0$. Menit *delay* digantikan dengan $E[t_i^f]$. Kemudian didapatkan :

$$(7) \quad T = \begin{pmatrix} E[t_1^f] & E[t_2^f] & \dots & E[t_n^f] \\ E[t_2^f] & E[t_2^f] & \dots & E[t_2^f] \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ E[t_n^f] & E[t_n^f] & \dots & E[t_n^f] \end{pmatrix}$$

$$(8) \quad P = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 1 & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Langkah-4. (8) merupakan hasil dari penggunaan algoritma Hungarian untuk mengalokasikan ulang pesawat yang tersedia.

Langkah-5. Memperbaharui YW , alokasi pesawat yang sesuai digantikan dari hasil langkah-4, kemudian lakukan langkah-2, dan langkah-langkah diulangi sampai tidak ada penerbangan *delay* atau penerbangan optimal.

2. Kompleksitas

Untuk satu bandara *delay*, digunakan algoritma Hungarian untuk mengalokasikan ulang armada kapal. Kompleksitas dari proses tersebut adalah $O(n^2)$. Ketika jumlah bandara yang *delay* adalah m , algoritma akan

diiterasi di setiap bandara, sehingga total kompleksitas adalah $O(mn^2)$, dimana adalah polinomial. Sehingga metode ini layak untuk diaplikasikan.

IV. TRAFFIC ALLOCATION (TALLOCC)

Metode yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya merupakan metode yang digunakan untuk memecahkan persoalan dinamis seperti *delay*. Metode tersebut menentukan jadwal yang dapat menangani permasalahan *delay* sebuah maskapai penerbangan di sebuah bandara. Rute yang telah disediakan oleh maskapai penerbangan dapat berubah sesuai dengan kebutuhan pelanggan dan dengan melihat kondisi kompetisi perusahaan di pasar maskapai penerbangan.

Proses alokasi pengangkutan merupakan kunci untuk optimasi dari jadwal. Hal-hal yang dipertimbangkan : asal –tujuan berdasarkan permintaan penumpang , jadwal yang diusulkan untuk sebuah maskapai penerbangan dan kompetisi, taksiran yang wajar biaya , tarif , dan lalu lintas parameter perilaku. Proses alokasi lalu lintas mensimulasikan daya tarik permintaan untuk setiap penerbangan yang melayani pasar. Model TALLOCC mensimulasikan proses pemilihan penerbangan maskapai penerbangan dan jadwal dari perusahaan pesaing. Berikut adalah empat komponen dari simulator TALLOCC:

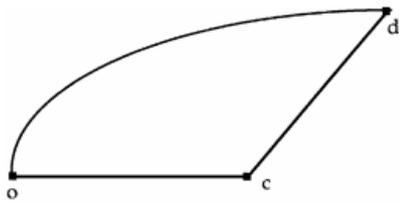
1. Pencarian sistematis untuk semua *through-stop* dan jalur penyambung yang mungkin untuk pengangkutan dalam setiap pasar tujuan.
2. Penentuan dasar perilaku penumpang untuk setiap layanan kompetitif yang ditawarkan di pasar
3. Alokasi kebutuhan secara inkremental
4. Sebuah modul “*Through-Flight Optimization*”, dimana menghitung pendapatan bersih dihubungkan dengan pergantian dari sebuah *connecting-flight* ke *through-stop flight*.

Model TALLOCC dan simulasinya dilakukan oleh Elias (1979) di Laboratorium Transportasi Udara di MIT.

1. Pencarian *through-stop* dan *connecting paths*

Langkah pertama yang dilakukan adalah mencari jadwal yang memungkinkan dilakukannya jalur *through-stop* untuk penumpang di setiap pasar. Sebagai tambahan pencarian sistematis dilakukan untuk menemukan semua *connecting paths* yang mungkin. Kriteria untuk pemilihan sebuah *connecting paths* adalah jarak dan rangkaian waktu yang terlibat, dan parameter lainnya yang dispesifikasikan ke sebuah pasar.

Fungsi jarak dan rangkaian waktu untuk koneksi menghasilkan sebuah sampul elips antara jarak minimum perjalanan dan waktu minimum perjalanan untuk penerbangan *through-stop*.



$$d_{oc} + d_{cd} < f(\min d_{od})$$

$$t_{oc} + t_{cd} < f(\min t_{od})$$

Gambar II Connecting Path (Mathaisel, 1997)

Dimana $f(\min d_{od})$ dan $f(\min t_{od})$ adalah fungsi elipsoidal dari jarak minimum perjalanan *through-stop* dan waktu perjalanan.

2. Passenger Behavior Functions

Passenger behavior functions di TALLOC secara utama berdasarkan kepada utilitas penumpang terhadap waktu dibandingkan dengan harga. Padahal, faktor lainnya juga termasuk dalam fungsi:

1. Frekuensi per hari
2. Waktu setiap hari (pilihan waktu keberangkatan dan kedatangan)
3. Hari per minggu
4. Kapasitas pesawat
5. *Connecting vs through-stop service*
6. Citra dari maskapai penerbangan
7. Pilihan type pesawat

Model ini membedakan kelas satu, kelas bisnis, dan *coach class* dan juga konfigurasi sub-kelas lainnya di kabin *coach* untuk pelayanan di sebuah pasar. Sensitivitas model terhadap biaya memberikan kesimpulan bahwa biaya yang dikenakan oleh maskapai penerbangan untuk setiap kelas berbeda-beda, sesuai dengan pelayanan di setiap kelas. Hal ini dapat menyebabkan distribusi dari kebutuhan pasar terhadap layanan tersebut.

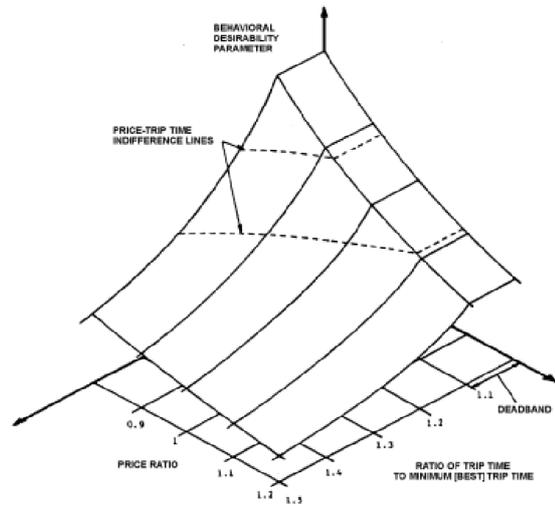
Penjelasan model yang dipilih adalah sebagai berikut. Untuk hari apapun di jadwal, kebutuhan asal-tujuan dibagi menjadi " N " potongan dari setiap $24/N$ jam. Untuk setiap potongan, fraksi dari kebutuhan harian terhadap transportasi udara pada waktu tersebut diketahui. Setiap layanan penerbangan yang berhubungan dengan atribut : total waktu perjalanan dan harga. Kedua atribut tersebut dikombinasikan menjadi satu fungsi harga-waktu "*behavioral desirability*", dimana dihitung untuk setiap layanan penerbangan yang ditawarkan selama irisan waktu. Layanan penerbangan i yang diinginkan dari *time-of-day* berpotongan dengan t adalah:

$$(1) \quad D_{i,t} = [(T_{\min}/T_i)^{x e_f}] \exp [x e_f (f_{ave}/f_i)]$$

Dimana:

T_{\min} total waktu perjalanan paling singkat diantara layanan yang ada, dari pusat waktu irisan waktu yang dipertimbangkan

T_i total waktu perjalanan dari layanan i
 e_T, e_f waktu perjalanan dan elastisitas biaya
 f_{ave} rata-rata biaya yang ditawarkan
 f_i biaya untuk layanan i
 x sebuah *empirical elasticity multiplier*



Gambar III Behavioral Desirability Function (Mathaisel, 1997)

Persamaan (1) membandingkan waktu perjalanan dari setiap layanan penerbangan dengan waktu perjalanan dari layanan penerbangan yang terbaik. Fungsi tersebut juga membandingkan waktu yang diinginkan oleh penumpang dengan waktu keberangkatan penerbangan. Hal tersebut mengakibatkan penerbangan yang berangkat dua jam lebih/kurang dari waktu yang diinginkan penumpang mengandung arti bahwa penumpang ditelantarkan dua jam dari waktu yang diinginkan. Setiap potongan *time-of-day* memiliki lebar yang terukur. Oleh karena itu masukan dengan waktu keberangkatan yang dekat dengan titik tengah potongan akan lebih diutamakan. Untuk alasan ini, dibuat sebuah *deadband* di waktu perjalanan, dimana dilakukan pengurangan setengah dari lebar potongan waktu, menjadi:

$$(2) \quad T_i' = \min(T_{\min}, T_i - 0.5(24/N))$$

Dengan persamaan ini, semua penerbangan dalam bagian dari potongan waktu penerbangan terbaik (sebesar 0,5) dianggap penerbangan terbaik, dalam hal waktu yang diinginkan oleh penumpang.

V. KESIMPULAN

Proses penjadwalan dilakukan dengan mempertimbangkan faktor internal dan faktor eksternal dari maskapai penerbangan. Secara logik, penjadwalan dilakukan agar tidak terdapat dua jadwal yang beririsan. Hal ini tidak menimbulkan masalah apabila kedua jadwal yang ditemukan beririsan tidak menggunakan sumber daya yang sama. Yang menjadi masalah dalam penjadwalan

penerbangan adalah terbatasnya jumlah sumber daya yang terlibat dalam satu penerbangan. Hal ini membuat dibutuhkan ketelitian dalam penentuan jadwal sehingga tidak menimbulkan kekacauan dalam hal alokasi dari sumber daya yang terlibat.

Dalam hal yang terkait dengan penumpang, penjadwalan pesawat terbang terkadang mengandung unsur yang dapat memuaskan pelanggan. Hal ini menyangkut jadwal yang tepat waktu, atau jadwal yang dapat secara dinamis berubah dalam kondisi khusus (*delay*). Beberapa model yang terdapat di bagian sebelumnya menjelaskan kebutuhan ini.

Penjadwalan juga dapat mengambil faktor kompetisi sebagai bahan pertimbangan penjadwalan. Dengan melihat kondisi kompetisi antara dua/ lebih maskapai penerbangan dalam jadwal/rute tertentu, jadwal dapat dibentuk sesuai dengan kebutuhan dari maskapai penerbangan itu sendiri. Konsep proses penjadwalan dalam bidang penerbangan komersil sering digunakan sebagai model yang terdapat dalam sistem pendukung keputusan. Dengan model yang tepat, diharapkan informasi yang dihasilkan sistem dapat membantu pihak manajerial dalam mengambil keputusan yang menguntungkan bagi perusahaan tersebut.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Marx, D. (2004). Graph Coloring Problems and Their Applications in Scheduling. *Periodica Polytechnica Ser.El.Eng.Vol.48, No.1*, 11-16.
- [2] Mathaisel, D. F. (1997). Decision Support for Airline Schedule Planning. *Journal of Combinatorial Optimization 1*, 251-275.
- [3] Mou, D., & Zhao, W. (2013). An Irregular Flight Scheduling Model and Algorithm Under the Uncertainly Theory. *Journal of Applied Mathematics*, (8pages).
- [4] Rossen, K. H. (2003). *Discrete Mathematics and Its Applications, 5th Edition* . New York : The McGraw-Hill Companies,Inc.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 9 Desember 2014



Aurelia H B Matoondang - 13510023