

PEMODELAN DAN PENYELESAIAN PERMASALAHAN PENJADWALAN PILOT DENGAN METODE EKSAK DEKOMPOSISI

Ahmad Rusdiansyah¹, Yani Dhina Mirehani², Zya Labiba³, Nurhadi Siswanto⁴

^{1,2,3}Transportation and Distribution Logistics Research Group, Laboratorium Logistics and Supply Chain Management, ⁴Laboratorium Data Mining, Optimization and Simulation

Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111

Email: arusdian@ie.its.ac.id

ABSTRAK

Penjadwalan kru pada suatu maskapai penerbangan merupakan salah satu permasalahan operasional yang terpenting. Penjadwalan kru terdiri dari dua tahapan yaitu tahap pengelompokkan kru dan penugasan kru. Penelitian ini memfokuskan pada pembuatan jadwal penugasan pilot pesawat Boeing 737-200 pada maskapai penerbangan PT. X Airlines yang ber-home base di Surabaya selama satu bulan, berdasar pada hasil pengelompokkan pilot yang telah ditentukan sebelumnya. Terdapat sejumlah peraturan horizontal dan vertikal yang harus dipenuhi membuatnya menjadi permasalahan kombinatorial yang sangat kompleks, sehingga tidak dapat diselesaikan dengan menggunakan metode eksak murni dalam waktu yang wajar. Untuk itu digunakan metode eksak dekomposisi. Model tersebut diterjemahkan menggunakan perangkat lunak optimisasi LINGO. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa jadwal penugasan pilot yang dibuat dengan metode ini lebih baik daripada jadwal milik perusahaan untuk kasus pada bulan Mei 2006.

Kata kunci: penjadwalan pilot, pengelompokkan pilot, aturan horizontal dan vertikal, metode eksak dekomposisi

ABSTRACT

Crew scheduling is one of most important operational problems in airline industries. Crew scheduling Problem consists of two steps that is "Crew Pairing" and "Crew Rostering". The research focusses on building Boeing 737-200's monthly pilot rostering of PT. X Airlines based on given pilot pairings. There are some vertical and horizontal regulations must be fulfilled in so that the problem becomes very complex and cannot be solved using a pure exact method in reasonable computational time. Accordingly, we propose a decomposition exact method to solve the problem. Our model was run using LINGO Optimization software. Experiment results showed that our schedules are outperform than the existing schedules of the airline for the case of May 2006.

Keywords: *pilot rostering, pilot pairing, vertical and horizontal rules, decomposition exact method*

1. PENDAHULUAN

Maskapai penerbangan sebagai salah satu jenis dari industri jasa transportasi udara memiliki permasalahan yang kompleks dipandang dari segi operasional. Diantaranya adalah permasalahan operasi perawatan kru, pelayanan pada pelanggan, pesawat, *inventory*, pengadaan, pembelian bahan bakar dan suku cadang, dan lain sebagainya (Bazargan, 2004).

Setelah pengeluaran bahan bakar, biaya pengeluaran untuk penugasan kru (pilot dan awak kabin) merupakan pengeluaran terbesar. Hal ini terkait dengan proporsi biaya kru sebesar 15-20%

dari total biaya operasional perusahaan (Kerati *et al.*, 2002). Sehingga perencanaan biaya kru yang efisien merupakan faktor penting dari industri penerbangan (Medard *et al.*, 2007). Hal ini menuntut maskapai penerbangan untuk melakukan efisiensi pemanfaatan sumber daya kru agar tetap kompetitif. Oleh karena itu, perusahaan secara kontinu mencari jalan terbaik dalam pemanfaatan sumber daya dan memperbaiki keputusan penjadwalan sehingga perusahaan dapat memanfaatkan sumber daya kru secara efisien.

Peningkatan biaya kru dan ketidakefisienan akan terjadi apabila penjadwalan kru terganggu. Sebaliknya pengurangan biaya kru akan menghasilkan penghematan yang cukup besar bagi perusahaan. Salah satu cara untuk efisiensi biaya kru dapat dilakukan dengan perencanaan penjadwalan yang optimal menggunakan teknik Riset Operasional (Medard *et al.*, 2007). Pendekatan optimisasi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan kru adalah metode matematis (teknik *large scale linear programming* dan *integer programming*), metode *Artificial Intelligent* (*simulated annealing*, *neural network*, *fuzzy logic* dan algoritma genetik) (Kerati *et al.*, 2002).

Penjadwalan kru maskapai penerbangan dibagi dalam dua tahap, yaitu tahap pengelompokan kru (*crew pairing*) dan penugasan kru (*crew rostering*). Tahapan *pairing* merupakan pembuatan aktivitas penerbangan tanpa memperhatikan nama-nama kru (*anonymous*). Daftar jam penerbangan dibuat sebagai *input* untuk membentuk urutan penerbangan yang disebut pengelompokan (*pairings*) atau perjalanan (*trips*). Tujuan utama pada tahap ini adalah penggunaan jumlah sumber daya kru yang minimum untuk mencakup kelengkapan daftar jam (Medard *et al.*, 2007). Tahap selanjutnya yaitu tahapan pembuatan pasangan kru yang ditugaskan pada tiap-tiap kru untuk menjalankan berbagai aktivitas seperti tugas dasar, tugas pelayanan dan lain-lain yang disebut tahap *crew rostering*. Tujuannya untuk menemukan penugasan yang layak dengan meminimumkan biaya kru dan peningkatan aspek kualitas hidup kru (Medard *et al.*, 2007).

Berbagai literatur di bidang ini antara lain adalah (Stojkovic *et al.*, 1998; Butchers, 2001) dan (Kerati *et al.*, 2002) serta (Medard *et al.*, 2007). Namun demikian penelitian dibidang ini yang mengambil kasus permasalahan penerbangan di Indonesia masih sangat langka. Untuk itu, penelitian ini akan mencoba mengisi kekosongan tersebut. Secara rinci, fokus permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana menyusun jadwal penugasan pilot maskapai penerbangan PT. X Airlines untuk pesawat B737-200 yang berbasis di Surabaya selama bulan Mei 2006 dengan menggunakan metode eksak dekomposisi. Penelitian ini akan melakukan komparasi hasilnya terhadap jadwal penugasan pilot yang ada pada maskapai penerbangan tersebut.

2. DATA DAN ATURAN PENJADWALAN

Pada penelitian ini data yang dibutuhkan antara lain: data pilot, data aktivitas penugasan (tugas penerbangan maupun non-penerbangan), jadwal penerbangan (*pairing*), serta aturan-aturan penugasan baik vertikal maupun horizontal. Semua data tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari Labiba (2006) yakni penjadwalan pilot pesawat B737-200 PT. X Airlines dengan *home base* Surabaya selama periode bulan Mei 2004. Pengolahan data yang di atas dilakukan dengan asumsi bahwa hasil tahapan *pilot pairing* telah ditentukan sebelumnya.

2.1 Data Pilot

Jumlah pilot pada maskapai penerbangan PT. X Airlines yang berlokasi di *home base* Surabaya untuk jenis pesawat B 737-200 berjumlah 17 orang. Pilot tersebut memiliki kualifikasi tertentu agar dapat bertugas sebagai kapten pilot yaitu kualifikasi Bar 4. Sedangkan posisi co-pilot diberikan kepada pilot yang memiliki kualifikasi Bar 1, 2, dan 3. Semua pilot untuk jenis pesawat

B 737-200 pada PT. X Airlines memiliki kualifikasi Bar 4, sehingga semua pilot tersebut dapat ditugaskan baik dengan posisi sebagai pilot maupun ko-pilot.

2.2 Aktivitas Penugasan

Aktivitas penugasan (jadwal dinas) merupakan aktivitas/tugas yang diberikan oleh maskapai penerbangan kepada anggota kru sebagai kewajiban yang harus dilaksanakan.

2.2.1 Aktivitas *Pairing* (Dinas Terbang)

Pairing merupakan urutan bagian perjalanan dalam satu penerbangan yang sama dimana penerbangan tersebut dimulai dan berakhir pada *home base* yang sama yaitu Surabaya. Aktivitas *pairing* terdiri atas:

- Dinas terbang aktif (ACT): Dinas terbang aktif dimana anggota kru menjalankan aktivitas/tugas penerbangan.
- Dinas terbang ekstra kru (EXU): Dinas terbang yang tidak aktif dimana pengangkutan anggota kru dalam menjalankan tugas *pairing* di luar *home base* atau kembali ke *home base* asal karena *duty period* sudah selesai.
- *Remain overnight* (RON): Periode istirahat bermalam (*overnight*) selama menjalankan aktivitas *pairing* di kota lain.

Pairing untuk jenis pesawat B 737-200 di *home base* Surabaya ada 5, dengan 4 *duty period* yang berbeda. Frekuensi tiap *pairing* dalam satu minggu bervariasi antara satu minggu sekali sampai dengan satu minggu tujuh kali. Karena *base* dari pesawat ini adalah Surabaya, sehingga dalam aktivitas setiap *pairing* untuk jenis pesawat ini membutuhkan 2 pilot yang berasal dari *home base* Surabaya. Pada beberapa *pairing*, pilot yang ditugaskan berasal dari *home base* yang lain. Sehingga kebutuhan kru dengan *home base* Surabaya untuk *pairing* tersebut kosong. Untuk lebih jelasnya, *pairing* untuk pesawat B 737-200 diperlihatkan pada Tabel 1 termasuk perkecualian-perkecualiannya.

2.2.2 Aktivitas Non-*Pairing*

Set aktivitas selain *pairing* yang terdapat yang harus diajukan sebelum jadwal disusun, terdiri dari:

- *Standby*: Aktivitas penugasan dimana anggota kru harus siap siaga (*standby*) untuk menggantikan posisi anggota kru lain yang berhalangan.
- *Simulator* (SIM): Aktivitas ini ditugaskan khusus pada pilot untuk meningkatkan kemampuan terbang dari pilot.
- COURSE: Mengikuti training/kursus
- *Medical Examination* (MDX) :
- MED: Izin untuk tidak ditugaskan karena sakit.
- *Office* (OFC): Jadwal dinas bagi kru yang bertugas pada administrasi kantor.
- *Annual Leave* (AL): Cuti tahunan
- *Odl, Long*: Cuti diluar tanggungan.
- *Other*: Selain tugas-tugas di atas.
- *Day Off* (DO): Kondisi dimana anggota kru dibebaskan dari segala macam tugas/kontak dengan maskapai untuk keperluan istirahat, pemulihan dan kehidupan sosial. Namun demikian

jika keadaan terpaksa, DO dapat direvisi asalkan ada persetujuan dari anggota kru yang bersangkutan. Periode waktu DO adalah 1 hari (24 jam).

Tabel 1 Data *pairing* untuk Bulan Mei 2006

No	No Pairing	Duty Period	Rincian Tugas	Jam Terbang	Jadwal Penerbangan Mingguan							
					Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu	
1	611	2 Hari	Hari Ke 1 : SUB-BDO	2	1611	2611	3611*	4611	5611 *	6611	7611	
			Hari ke 2 : BDO-SUB									
		Kebutuhan Kru			Pilot	0	2	2	2	2	2	2
			Awak Kabin	4	4	4	4	4	4	4		
2	619 **)	1 Hari	Hari ke 1 : SUB-SUB	7	1610	2610	3610	---	5610	---	7610	
			Kebutuhan Kru			Pilot	2	2	0	0	2	0
					Awak Kabin	4	4	4	0	4	0	4
3	657	1 Hari	Hari ke 1 : SUB-SUB	7	---	---	---	---	---	---	7657	
			Kebutuhan Kru			Pilot	0	0	0	0	0	0
					Awak Kabin	0	0	0	0	0	0	0
4	830/831	2 Hari	Hari ke 1 : SUB-KUL	5	1831	---	3830	4831	5830	6831	7830	
			Hari ke 2 : KUL-SUB									
		Kebutuhan Kru			Pilot	2	0	2	0	2	2	0
			Awak Kabin	4	0	4	4	4	4	4		
5	784/796	4 Hari	Hari ke 1 : SUB-MDC	15	1796	2784	3796	4784	5796	6784	7796	
			Hari ke 2 : RON									
			Hari ke 3 : MDC-SOQ									
			Hari ke 4 : SOQ-SUB									
		Kebutuhan Kru			Pilot	0	2	2	0	0	2	2
			Awak Kabin	4	4	4	4	4	4	4		

* Untuk hari Rabu dan Jumat pada minggu pertama. Jumlah pilot dengan home base Surabaya pada pairing ini hanya satu orang.

** Untuk hari Minggu (21 Mei), jumlah jumlah pilot dengan home base Surabaya untuk pairing ini hanya satu orang

*** Untuk pairing dengan hari keberangkatan pada hari Senin duty period 3 hari dengan rincian tugas hari 1: SUB-KUL; hari 2: KUL-KUL; hari 3: KUL-SUB dengan jam terbang sebesar 12 jam. Untuk Jumat (19 Mei), jumlah pilot dengan home base Surabaya untuk pairing ini hanya satu orang.

2.3 Aturan-Aturan Penugasan

Aturan-aturan yang diterapkan untuk penyusunan penugasan kru dapat dibedakan menjadi aturan vertikal dan aturan horisontal.

2.3.1 Aturan Horisontal

Aturan ini ditetapkan untuk peraturan yang berkaitan dengan penugasan aktivitas masing-masing anggota kru. Aturan ini meliputi antara lain:

1. Maksimum hari ditugaskan dalam penerbangan (*pairing*) awak pesawat (anggota kru) adalah: $30 - (2/7 \times 30) \times 1 \text{ hari} = 21 \text{ hari}$. tugas, termasuk waktu tunggu bagi kru selama pergantian pesawat untuk menjalankan tugas selanjutnya. *Flight duty time* dapat melebihi 14 jam dengan syarat syarat tambahan tertentu.
2. *Flight time* pilot maksimal selama 9 jam per hari.
3. Dalam kurun waktu 7 hari, *flight time* untuk awak kokpit (pilot) maksimal selama 30 jam. Sedangkan dalam kurun waktu 1 bulan maksimal 110 jam.
4. Minimum periode istirahat sekurang-kurangnya 9 jam dengan sekurang-kurangnya 1 jam tambahan untuk keperluan psikologis.
5. Setiap anggota kru harus mendapatkan *rest period* sekurang-kurangnya 24 jam (1 hari) untuk kurun waktu terbang selama 7 hari terus-menerus.

- Setiap anggota kru diberikan *day off* setelah melakukan pelatihan simulasi kabin atau kursus lain. Ketentuan pemberian *day off* dilakukan berdasarkan Tabel 2.

Tabel 2. Ketentuan *day off* setelah mengikuti pelatihan

Durasi <i>training</i> /kursus (hari)	1 - 6	7 - 13	14 - 20	21-27	≥ 27
<i>Day off</i> (hari)	1	2	3	4	5

2.3.2 Aturan Vertikal

Aturan vertikal merupakan aturan yang ditetapkan untuk mengetahui hubungan antar *roster*. Aturan vertikal mengacu pada batasan aktivitas yang dikembangkan oleh maskapai penerbangan, antara lain:

- Dalam satu *pairing/flight*, jumlah minimum pilot (*flight crew*) adalah 2 pilot. Dimana 1 pilot ditugaskan sebagai kapten pilot dan yang lain sebagai co-pilot.
- Waktu terbang (*flight time*) dan periode tugas (*flight duty time*) untuk pilot dalam satu penerbangan dilakukan berdasarkan Tabel 3 dan 4
- Apabila terdapat perpanjangan tugas penerbangan lebih dari 14 jam, maka diperlukan 1 tambahan pilot (*flight crew*) dimana tambahan pilot harus memiliki kualifikasi kapten sesuai dengan tipe pesawat.
- Pilot yang memenuhi persyaratan sebagai kapten pilot dapat bertugas sebagai co-pilot. Dalam jadwal normal, adanya *double* kapten dalam satu jadwal harus dihindari. Bila tidak mungkin, perubahan posisi dengan pilot harus dilakukan. Pada posisi setara, penugasan kapten pilot harus didasarkan pada daftar penugasan kru. Pada jadwal terevisi, penggantian harus didasarkan pada jadwal asli seperti kapten pilot atau co-pilot.

Tabel 3. Aturan waktu terbang (*flight time*) untuk pilot

Min. Pilot	Tambahan Pilot	Jam terbang						Subyek Catatan
		Harian	7 hari	30 hari	90 hari	Bulanan	Tahunan	
2	-	9	30	-	-	110	1050	-
2	1	12	-	120	300	-	1050	1
≥ 3	1	-	-	120	300	-	1050	2

Tabel 4. Aturan maksimal *flight duty time* untuk awak pilot

Min. Pilot	Tambahan Pilot	Max. Waktu terbang	Tugas
2		14 jam	
2	1	16 jam	
2	1	17 jam	
2	≥ 1	20 jam	

3. PENYUSUNAN MODEL

Fungsi tujuan dari model matematis jadwal penugasan pilot yang dilakukan adalah meminimumkan selisih antara jumlah hari dan jam terbang yang ditugaskan pada masing-masing pilot dengan jumlah hari dan jam terbang maksimum dari ketentuan maskapai penerbangan.

Dengan selisih yang semakin kecil, diharapkan akan meningkatkan performansi dari tiap-tiap pilot namun tetap memenuhi peraturan dari maskapai penerbangan.

3.1 Kondisi Awal

Output dari jadwal penugasan pilot pada dasarnya adalah himpunan aktivitas yang ditugaskan pada masing-masing kru dalam satu periode penugasan. Pada umumnya, masing-masing kru memiliki himpunan aktivitas kosong tiap awal penyusunan jadwal penugasan kru. Namun pada beberapa anggota kru, kondisi awal dari himpunan aktivitasnya tidak kosong karena himpunan aktivitasnya sudah terisi dengan aktivitas yang harus ditugaskan padanya. Hal ini dikarenakan beberapa hal, antara lain:

- Hari pertama pada periode penugasan yang baru, anggota kru harus menjalani *day off* setelah melakukan tugas pada periode sebelumnya.
- Terdapat beberapa anggota kru yang mengajukan ijin untuk tidak ditugaskan pada periode penugasan yang berikutnya.
- Ada beberapa anggota kru yang harus menjalani aktivitas *non-pairing*, sehingga tidak dapat menjalani tugas *pairing* yang seharusnya diberikan padanya.

3.2 Notasi Model

Berikut ini adalah Notasi dari model matematika yang digunakan:

Sets P : set dari pilot; D : set dari hari ; J : set dari tugas penerbangan

Indeks p : indeks pilot ; d : indeks hari ; j : indeks tugas penerbangan ; dd : indeks bagian dari hari

Parameter F_{dj} : jam terbang pada hari d untuk tugas penerbangan j

Variabel keputusan $X_{pdj} = 1$ bila pilot p ditugaskan pada hari d untuk tugas penerbangan j ;

$DVp1_p$: Deviasi positif pada kendala 1 untuk tiap pilot p ; $DVn1_p$: Deviasi negatif pada kendala

1 untuk tiap pilot p ; $DVp2_p$: Deviasi positif pada kendala 2 untuk tiap pilot p ; $DVn2_p$:

Deviasi negatif pada kendala 2 untuk tiap pilot p

Model matematis selengkapnya adalah sebagai berikut

$$\text{Fungsi Obyektif } Z = \text{Min} \sum_p [(24(DVp1_p + DVn1_p)) + (DVp2_p + DVn2_p)] \quad (1)$$

Subject to:

$$\left(\sum_d \sum_j X_{pdj} \right) - DVp1_p + DVn1_p = 21 \quad \forall p \in P \quad (2)$$

$$\left(\sum_d \sum_j F_{dj} \cdot X_{pdj} \right) - DVp2_p + DVn2_p = 110 \quad \forall p \in P \quad (3)$$

$$\sum_j X_{pdj} \leq 1 \quad \forall p \in P; d \in D \quad (4)$$

$$\sum_{dd} \sum_j X_{p(d-dd+8)j} \leq 7 \quad \forall p \in P; d \in D = 1, \dots, 24; dd \leq 8 \quad (5)$$

$$\sum_{dd} \sum_j F_{p(d-dd+8)j} \cdot X_{p(d-dd+8)j} \leq 30 \quad \forall p \in P; d \in D = 1, \dots, 24; dd \leq 8 \quad (6)$$

Fungsi objektif (1) berfungsi untuk meminimumkan jumlah total deviasi dari kendala penyimpangan hari terbang dan jam terbang yang terletak pada kendala (2) dan (3). $DVp1_p$ dan $DVn1_p$ pada fungsi objektif dikalikan dengan 24 karena dengan satu penyimpangan dari deviasi ini akan menyebabkan pengeluaran biaya yang lebih besar 24 kali bila dibandingkan dengan $DVp2_p$ dan $DVn2_p$. Hal tersebut dikarenakan satuan penyimpangan $DVp1_p$ dan $DVn1_p$ dengan $DVp2_p$ dan $DVn2_p$ berbeda. $DVp1_p$ dan $DVn1_p$ mempunyai satuan hari, sedangkan $DVp2_p$ dan $DVn2_p$ mempunyai satuan jam. Sehingga, apabila terdapat pilot yang memperoleh kelebihan jumlah hari terbang, biaya yang akan dikeluarkan adalah 24 kali dibandingkan dengan bila pilot tersebut memperoleh kelebihan jam terbang. Kendala (2) berfungsi untuk membatasi jumlah hari yang ditugaskan kepada masing-masing pilot p agar tidak menyimpang terlalu jauh dari total 21 hari dalam periode satu bulan penugasan. Kendala (3) berfungsi untuk membatasi jumlah jam terbang yang ditugaskan kepada masing-masing pilot p agar tidak menyimpang terlalu jauh dari total 110 jam dalam periode satu bulan penugasan. Dalam hal ini bobot untuk deviasi negatif maupun positif diasumsikan sama karena untuk menghindari penyimpangan yang terlalu jauh dengan total 21 hari, baik kelebihan maupun kekurangan sehingga dapat dihasilkan jadwal yang bukan hanya tidak melebihi aturan 21 hari, namun tidak jauh lebih rendah dari aturan tersebut sehingga akan adil bagi semua pilot. Kendala (4) berfungsi untuk memastikan bahwa setiap pilot p hanya mendapatkan satu tugas penerbangan j untuk tiap hari d . Kendala (5) berfungsi untuk membatasi jumlah hari yang ditugaskan kepada masing-masing pilot p agar tidak lebih dari total 7 hari dalam periode satu minggu penugasan. Kendala (6) berfungsi untuk membatasi jumlah jam terbang yang ditugaskan kepada masing-masing pilot p agar tidak lebih dari total 30 jam dalam periode satu minggu penugasan. Model-model tersebut di atas diterjemahkan kedalam sintaks perangkat lunak optimisasi LINGO seperti terdapat pada lampiran.

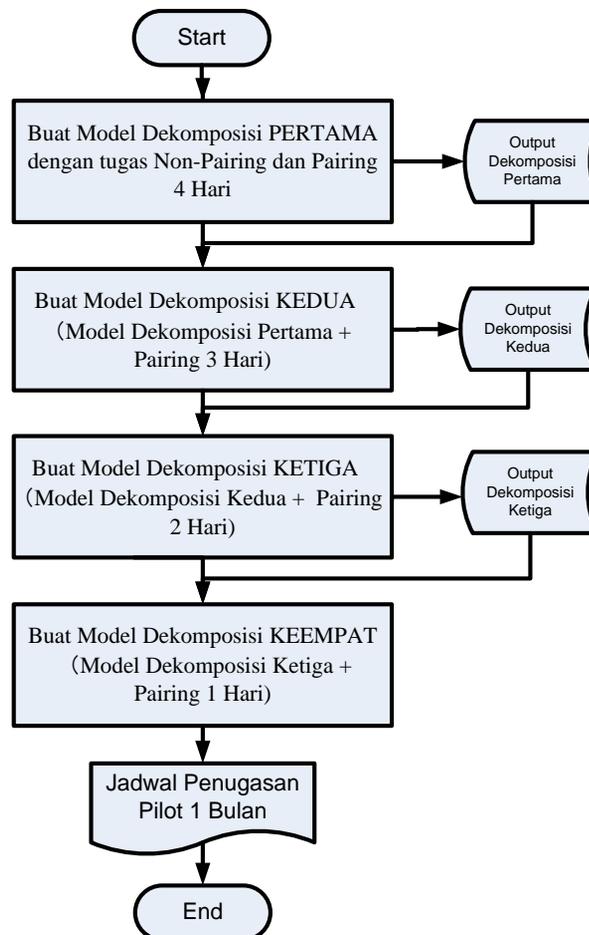
3.3 Kebutuhan atas Dekomposisi Permasalahan

Di literatur dikenal bahwa model penjadwalan kru adalah sebuah *NP Hard Problem*. Percobaan kami menyelesaikan formulasi di atas dengan metoda eksak murni membutuhkan waktu komputasi melebihi 36 jam menggunakan komputer PC dengan prosessor Intel Dual Core 2 Duo 1.5 Mhz dengan Memory 1GB sehingga kurang layak dari sisi kewajaran waktu komputasi. Untuk itu diperlukan suatu dekomposisi dari problem aslinya sehingga dapat mereduksi waktu komputasi.

Ide penyelesaian masalah ini didapat dari Butchers *et al* (2001) yang melakukan penyelesaian permasalahan crew *rostering* pada maskapai penerbangan New Zealand dengan menggunakan cara pembuatan *sub-roster*. *Sub-roster* merupakan bagian dari *roster* dengan panjang rata-rata lima sampai dengan tujuh hari. Dari setiap kru, dibuat periode *sub-roster* pertama dan kemudian dicari solusi optimal penugasan untuk kru tersebut dalam periode *sub-roster* tersebut. Setelah permasalahan pada *sub-roster* pertama diselesaikan dan mendapatkan hasil yang *feasible*, maka dibuatlah periode *sub-roster* kedua dengan panjang durasi yang sama dan dicari solusi penugasan untuk kru pada periode *sub-roster* yang baru. Apabila pada *sub-roster* baru tersebut tidak ditemukan solusi yang *feasible*, maka periode *sub-roster* dimundurkan satu hari dengan mengikutsertakan satu hari dari periode *sub-roster* sebelumnya. Setelah itu, dicari solusi yang *feasible* untuk *sub-roster* tersebut. Apabila masih belum mendapatkan *output* yang *feasible*, maka panjang *sub-roster* dimundurkan satu hari lagi sampai didapatkan solusi yang *feasible*.

Setelah *sub-roster* tersebut menghasilkan solusi yang optimal, dilanjutkan dengan *sub-roster* berikutnya. Begitu seterusnya, sampai durasi *roster* telah terpenuhi.

Dalam penelitian kami, model dekomposisi ini terdiri dari empat bagian. Bagian pertama adalah model dekomposisi yang berfungsi untuk menjadwalkan pilot kedalam tugas *non-pairing* dan tugas *pairing* (penerbangan) dengan lama hari ditugaskan adalah empat hari. Bagian kedua adalah model dekomposisi yang berisikan tugas model dekomposisi pertama ditambah dengan tugas *pairing* (penerbangan) dengan lama hari ditugaskan adalah tiga hari. Model dekomposisi ketiga berisikan tugas-tugas pada model dekomposisi kedua ditambah dengan tugas *pairing* (penerbangan) dengan lama hari ditugaskan adalah dua hari. Sedangkan model dekomposisi terakhir berisikan tugas-tugas pada model dekomposisi ketiga ditambah dengan tugas *pairing* (penerbangan) dengan lama hari ditugaskan adalah satu hari. Pada setiap tahap, output dari tahap sebelumnya dimasukkan kedalam model dekomposisi berikutnya sebagai konstrain tambahan. Gambar 1 menunjukkan *flowchart* langkah-langkah dalam Model Dekomposisi.



Gambar 1. *Flowchart* Langkah-langkah dalam model dekomposisi

Pada model dekomposisi, data kebutuhan pilot untuk tiap jadwal *pairing* dan data lama hari terbang dimasukkan kedalam konstrain. Contoh konstrain tersebut adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sum_p x_{pdj} &= 2 & d \in D=2; j \in J=2 \\ \sum_p x_{pdj} &= 2 & d \in D=3; j \in J=2 \\ \sum_p x_{pdj} &= 2 & d \in D=4; j \in J=2 \\ \sum_p x_{pdj} &= 2 & d \in D=5; j \in J=2 \end{aligned}$$

Konstrain di atas menunjukkan bahwa pada tugas penerbangan dua (ditunjukkan oleh notasi $j \in J = 2$) yang dimulai pada hari dua (ditunjukkan oleh notasi $d \in D = 2$) membutuhkan pilot sebanyak dua orang. Karena *pairing* penerbangan ini berlangsung selama empat hari, maka kebutuhan pilot untuk tiga hari berikutnya (hari tiga, empat dan lima) sama dengan hari dua. Selain itu, juga terdapat konstrain tambahan yang dicontohkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} x_{pdj} &\leq x_{p(d+1)j} ; \forall p \in P; d \in D=2; j \in J=2 \\ x_{pdj} &\leq x_{p(d+2)j} ; j \in J=2 \\ x_{pdj} &\leq x_{p(d+3)j} ; \forall p \in P; d \in D=2; j \in J=2 \end{aligned}$$

Konstrain di atas berfungsi untuk memastikan bahwa apabila nilai x_{pdj} pada tiap pilot yang di-assign pada hari dua dengan tugas penerbangan dua bernilai satu, maka nilai x_{pdj} untuk 3 hari berikutnya juga bernilai satu. Konstrain tambahan lainnya adalah untuk menunjukkan bahwa pada hari tersebut dengan tugas-tugas penerbangan tertentu, tidak ada yang pilot yang boleh ditugaskan pada hari-hari dan tugas-tugas penerbangan tersebut.

4. ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL

Untuk mengujicoba model di atas dijalankan dengan berbagai variasi batasan jam terbang masing-masing 21 hari (DE21), 20 hari (DE20) dan 19 hari (DE19). Kemudian hasilnya diperbandingkan dengan hasil dari jadwal maskapai penerbangan saat ini (AIRLINE). Komparasi tersebut meliputi jumlah hari terbang dan jam terbang yang ditugaskan kepada masing-masing anggota pilot. Komparasi tersebut ditayangkan pada Tabel 5.

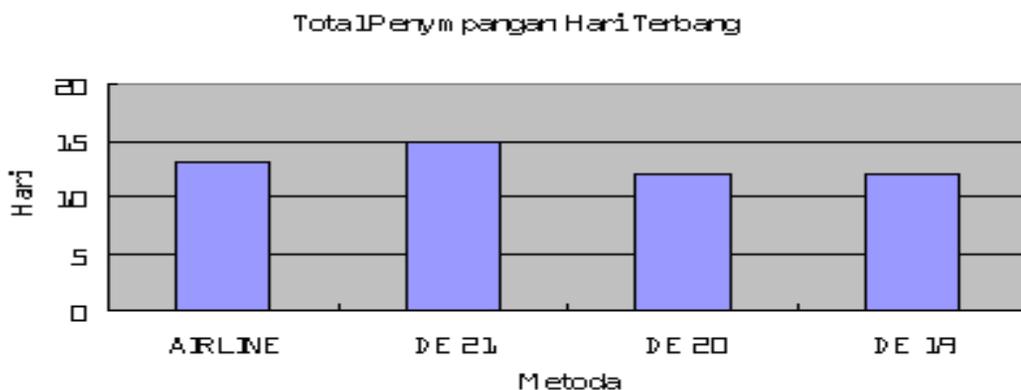
Pada tabel tersebut, “Selisih #1” adalah selisih dari hari terbang yang nilainya kurang dari 21 hari. Sedangkan “Selisih #2” merupakan selisih dari hari terbang yang nilainya lebih dari 21 hari. Nilai untuk “Selisih #1” bernotasi negatif karena nilai yang hari terbang yang dipakai untuk mencari nilai selisih tersebut kurang dari 21 sehingga dianggap jumlah hari terbang tersebut kurang sejumlah dengan angka yang tertera untuk mencapai batasan jam terbang tersebut. Sedangkan untuk nilai “Selisih #2” bernilai positif karena jumlah hari terbang memiliki kelebihan sejumlah dengan angka yang tertera dari batasan jam terbang maksimum yaitu 21 hari. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat beberapa pilot yang jumlah hari terbangnya kurang dari 21 hari dan sebagian lagi melebihi batasan jam terbang maksimum.

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa model yang menghasilkan jadwal penugasan yang lebih merata adalah model DE20 dan DE19. Batasan hari untuk kedua model ini dibuat lebih kecil dibandingkan dengan ketentuan untuk mengetahui apakah dengan batasan yang lebih kecil dapat menghasilkan jadwal yang jumlah hari terbangnya lebih sedikit yang melanggar batasan hari terbang maksimum yaitu 21 hari. Output yang didapatkan untuk kedua model ini menunjukkan bahwa jumlah hari terbang yang ditugaskan kepada masing-masing pilot menjadi lebih merata dan

jumlah penyimpangan yang terjadi menjadi lebih sedikit bila dibandingkan dengan model yang lain. Hal ini diperkuat dengan lebih rendahnya nilai rata-rata hari terbang untuk kedua metoda tersebut dibandingkan metoda DE21 dan AIRLINE. Perbandingan total penyimpangan hari terbang untuk masing-masing jadwal penugasan pilot dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 5. Komparasi jumlah dan rata-rata hari terbang

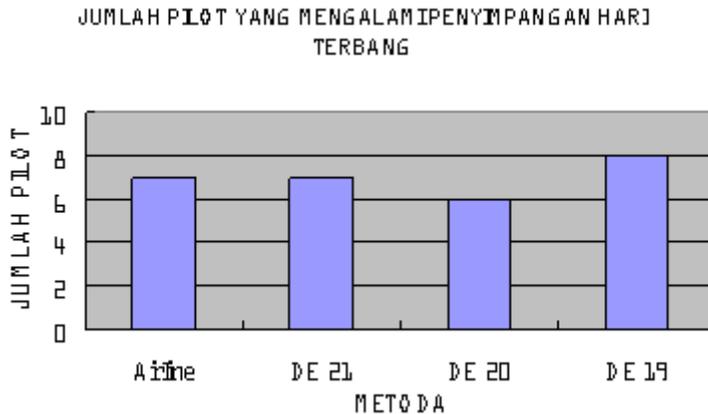
Kru #	Airline			Metoda DE21			Metoda DE20			Metoda DE19		
	Hari Terbang	Selisih #1	Selisih#2									
1	21	0	0	20	-1	0	21	0	0	22	0	1
2	21	0	0	22	0	1	23	0	2	22	0	1
3	23	0	2	26	0	5	23	0	2	24	0	3
4	22	0	1	24	0	3	23	0	2	23	0	2
5	18	-3	0	17	-4	0	18	-3	0	17	-4	0
6	22	0	1	24	0	3	23	0	2	23	0	2
7	16	-5	0	18	-3	0	17	-4	0	20	-1	0
8	21	0	0	22	0	1	24	0	3	22	0	1
9	17	-4	0	20	-1	0	18	-3	0	19	-2	0
10	16	-5	0	13	-8	0	16	-5	0	14	-7	0
11	22	0	1	19	-2	0	19	-2	0	19	-2	0
12	21	0	0	22	0	1	22	0	1	21	0	0
13	24	0	3	22	0	1	21	0	0	20	-1	0
14	24	0	3	20	-1	0	20	-1	0	22	0	1
15	19	-2	0	21	0	0	21	0	0	21	0	0
16	21	0	0	21	0	0	21	0	0	22	0	1
17	23	0	2	18	-3	0	18	-3	0	17	-4	0
Jumlah	351	-19	13	349	-23	15	348	-21	12	348	-21	12
Rata-rata Jumlah pilot yang mengalami penyimpangan hari terbang	20.65			20.53			20.47			20.47		
			7			7			6			8



Gambar 2. Grafik total penyimpangan hari terbang

Penyimpangan hari terbang yang dimaksud dalam grafik di atas merupakan penyimpangan jumlah hari terbang yang ditugaskan kepada pilot selama satu bulan penugasan bila dilihat dari batasan jumlah maksimum hari ditugaskan untuk masing-masing pilot yaitu 21 hari yang disebutkan dalam aturan horisontal. Meskipun untuk dua model dekomposisi eksak lain yang dibuat mengubah konstrain kedua tersebut menjadi 20 hari dan 19 hari, jumlah hari yang ditugaskan kepada masing-masing pilot tetap dihitung penyimpangannya dari batasan 21 hari mengingat perubahan konstrain yang dilakukan dalam notasi matematis dari dua model DE20 dan DE19 hanya untuk mempersempit open time pilot dengan tujuan melihat apakah dengan perlakuan tersebut dapat menghasilkan jadwal penugasan pilot yang lebih baik. Dari Gambar 2

dapat dilihat pula bahwa model yang memiliki total penyimpangan hari terbang yang paling besar adalah model DE21. Sedangkan yang memiliki total penyimpangan hari terbang yang paling sedikit adalah model DE20 dan DE19. Sedangkan ditinjau dari sisi jumlah pilot yang mengalami penyimpangan hari terbang dapat dilihat pada Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3 Grafik jumlah pilot yang mengalami penyimpangan hari terbang

Jumlah pilot yang mengalami penyimpangan hari terbang ini dihitung dengan melihat pilot mana saja yang jumlah hari terbangnya melebihi batasan maksimum hari terbang yaitu 21 hari. Dari Gambar 2 dapat dilihat bahwa model yang memiliki jumlah pilot yang mengalami penyimpangan hari terbang, metoda DE20 lebih baik dibandingkan dengan jadwal eksisting dan model dekomposisi eksak lainnya. Secara umum dapat disimpulkan bahwa model DE20 merupakan model yang paling baik untuk kasus bulan Mei 2006. Hal ini dikarenakan model DE20 memiliki distribusi hari terbang yang lebih merata dan jumlah penyimpangan hari terbang yang lebih sedikit.

Tabel 6. Jumlah konstrain dan variable dan waktu komputasi *)

No.	Model	Konstrain	Variable	Waktu Komputasi (detik)
1	Model Dekomposisi (pairing 4 hari)	2366	2668	3
2	Model Dekomposisi (pairing 4 hari + 3 hari)	2567	3065	1
3	Model Dekomposisi (pairing 4 hari + 3 hari + 2 hari)	3475	7778	3
4	Model Dekomposisi (pairing 4 hari+ 3 hari + 2 hari + 1 hari)	3222	10267	2

*) Menggunakan : Komputer PC dengan prosessor Intel Dual Core 2 Duo 1.5 Mhz dengan Memory 1GB

Dari Tabel 6 terlihat bahwa waktu komputasi yang dibutuhkan untuk metoda dekomposisi eksak ini secara total adalah kurang dari 10 detik. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metoda dekomposisi eksak ini telah dapat menghasilkan hasil yang sangat bagus dengan waktu komputasi yang sangat rendah.

5. KESIMPULAN DAN PENELITIAN LANJUTAN

Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini antara lain:

1. Penelitian ini menghasilkan suatu model untuk menyusun jadwal penugasan pilot dari aktivitas penugasan maskapai penerbangan PT. X Airlines dengan menggunakan metode dekomposisi eksak yang meliputi proses pembuatan model matematis dan notasi matematis dalam LINGO. Model dekomposisi eksak dilakukan mengingat model eksak murni tidak dapat dilakukan dalam waktu komputasi yang wajar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu komputasi dapat direduksi secara signifikan.
2. Penelitian ini mengujicoba model dekomposisi eksak yang dibangun dengan mencoba berbagai variasi batasan jam terbang masing-masing 21 hari (DE21), 20 hari (DE20) dan 19 hari (DE19), dimana batasan untuk kedua model terakhir dimaksudkan untuk menghasilkan jadwal yang jumlah hari terbangnya lebih sedikit yang melanggar batasan hari terbang maksimum yaitu 21 hari.
3. Dari hasil komparasi dengan menggunakan data *pairing* pada bulan Mei 2006, terlihat bahwa jadwal penugasan pilot dari model dekomposisi eksak dengan batasan 20 hari (DE20) memiliki distribusi hari terbang yang lebih merata dan jumlah penyimpangan hari terbang yang lebih sedikit bila dibandingkan dengan jadwal penugasan pilot yang dipunyai maskapai penerbangan (AIRLINE) dan model dekomposisi eksak lainnya.

Arah penelitian yang dapat dilanjutkan di masa mendatang antara lain sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan dengan jumlah personil yang lebih besar, misalnya penjadwalan Awak Kabin (pramugari dan pramugara), bukan hanya awak kokpit (pilot) saja, seperti yang terdapat dalam Labiba (2006) dimana aturan penjadwalan semakin kompleks
2. Penelitian dapat juga dikembangkan dengan menyelesaikan berbagai kasus di bulan-bulan lainnya serta untuk kondisi di maskapai penerbangan lainnya sehingga dapat diketahui kinerja model usulan ini secara umum.

DAFTAR PUSTAKA

- Bazargan, M., 2004. *Airline Operations and Scheduling*. Ashgate, Burlington, USA.
- Butchers, E.R., 2001. "Optimized Crew Scheduling at Air New Zealand." Air New Zealand Ltd., New Zealand, <http://www.bsu.edu/web/mkarls/NZ.pdf>
- Kerati, S., Moudani, W.E.L., Coligny, M., and Mora-Camino, F., 2002. "A Heuristic Genetic Algorithm Approach for the Airline Crew Scheduling." www2.lifl.fr/PM2O/Reunions/04112002/kerati.pdf
- Medard, C.P., and Sawhney, N., 2007. "Airline Crew Scheduling from Planning to Operations." *European Journal of Operational Research*, Vol. 183, No. 3, p. 1013-1027
- Stojkovic', M., Soumis, F., and Desrosiers, J., 1998. "The Operational Airline Crew Scheduling Problem." *Transportation Science*, Vol. 32, No. 3, p. 232-245.
- Labiba, Z., 2006. *Aplikasi Metode Column Generation dalam Penyelesaian Penugasan Kru Maskapai Penerbangan*, Tesis Magister Teknik, Jurusan Teknik Industri ITS, Surabaya, Tidak dipublikasikan.

LAMPIRAN: Penterjemahan Model ke dalam LINGO

Model matematis seperti dijelaskan dalam poin 3.2 dapat dilakukan penterjemahan ke dalam bahasa LINGO sebagai berikut:

a. Mendefinisikan sets

SETS:

PILOT / P1..P17 /: DVp1, DVp2, DVn1, DVn2;

DAY / D1..D31 /;

DUTY / J1..J27 /;

TUGASTERBANG(DAY,DUTY): F;

PENUGASAN(PILOT,DAY,DUTY): X;

JADWAL(DAY,PILOT);

ENDSETS

b. Merumuskan jenis variabel (binary atau integer)

@FOR(PENUGASAN(P,D,J): @BIN(X(P,D,J)));

@FOR(PILOT(P): @GIN(DVp1(P)));

@FOR(PILOT(P): @GIN(DVp2(P)));

@FOR(PILOT(P): @GIN(DVn1(P)));

@FOR(PILOT(P): @GIN(DVn2(P)));

c. Merumuskan fungsi tujuan

[OBJ]MIN=@SUM(PILOT(P):24*(DVp1(P)+ DVn1(P))+(DVp2(P)+DVn2(P)));

d. Merumuskan kendala

@FOR(PILOT(P):@SUM(TUGASTERBANG(D,J): X(P,D,J)) - DVp1(P) + DVn1(P) = 21);

@FOR(PILOT(P):@SUM(TUGASTERBANG(D,J): F(D,J)* X(P,D,J)) - DVp2(P) + DVn2(P) = 110);

@FOR(JADWAL(D,P): @SUM(DUTY(J): X(P,D,J)) <= 1);

@FOR(JADWAL(D,P)|D#LE#24:@SUM(TUGASTERBANG(DD,J)|DD#LE#8:X(P,@WRAP(D-DD+8,31),J)) <= 7);

@FOR(JADWAL(D,P)|D#LE#24:@SUM(TUGASTERBANG(DD,J)|DD#LE#8:F(@WRAP(D-DD+8,31),J)*X(P,@WRAP(D-DD+8,31),J)) <= 30);

Sebagai tambahan, terdapat beberapa variabel X yang ditentukan bernilai 1 untuk penugasan yang telah ditentukan sebelumnya misalnya tugas training dan sebagainya.

e. Masukkan data jam terbang.

Memasukkan data jam terbang sesuai dengan *pilot pairing* yang telah ditentukan sebelumnya.