

## **Model Pengaturcaraan Linear untuk Meminimumkan Masa Menunggu Lebihan Penumpang Feri ke Pulau Langkawi**

### **Linear Programming Model to Minimize the Waiting Times of Excess Ferry Passengers to Langkawi Island**

<sup>1</sup>Wan Mohd Khairy Adly Wan Zaimi, <sup>2</sup>Mohd Syafarudy Abu, <sup>3</sup>Ahmad Kadri Junoh,

<sup>4</sup>Wan Nor Munirah Ariffin & <sup>5</sup>Siti Norwahida Shukeri

<sup>1,2,3,4</sup>Institut Matematik Kejuruteraan, Universiti Malaysia Perlis, 02600 Arau, Perlis

Tel : 04-9885450, Fax : 04-9885451

<sup>5</sup>Pusat Pengajian Inovasi Perniagaan dan Teknousahawan,

Universiti Malaysia Perlis, Blok B, Kompleks Pusat Pengajian Jejawi 1,

01000 Jalan Kangar-Arau, Arau, Perlis

e-mel: khairy@unimap.edu.my

### **Abstrak**

Pulau Langkawi di Kedah adalah merupakan salah satu tempat menarik untuk dilawati. Pulau Langkawi boleh dihubungi melalui jalan udara dan jalan laut daripada Kuala Perlis, Kuala Kedah dan Pulau Pinang. Perkhidmatan feri dari Kuala Perlis (Perlis) ke Kuah (Pulau Langkawi) menjadi pilihan utama di kalangan pelancong kerana ia menawarkan kos lebih rendah berbanding kos penerbangan. Peningkatan bilangan pelancong terutamanya semasa musim perayaan dan cuti sekolah, lebihan penumpang berlaku menyebabkan masa menunggu lebih lama. Dalam situasi ini, perjalanan tambahan diperlukan oleh syarikat pengusaha feri yang menyebabkan peningkatan kos operasi. Satu model pengoptimuman dibangunkan menggunakan teknik pengaturcaraan linear (PL) untuk meminimumkan masa menunggu bagi bilangan lebihan penumpang perjalanan pergi balik antara Kuah (Pulau Langkawi) dan Kuala Perlis berasaskan pemilihan kapasiti feri bersesuaian dengan bilangan penumpang dan sistem penjadualan baru. Hasil kajian menunjukkan masa menunggu bagi bilangan lebihan penumpang dapat dikurangkan tanpa membuat perjalanan tambahan.

**Kata kunci** Pengaturcaraan linear (PL), pengoptimuman, penjadualan, masa menunggu, lebihan penumpang, perkhidmatan feri Pulau Langkawi

### **Abstract**

Langkawi Island in the state of Kedah is one of the most attractive places to visit. It can be reached through air and sea via ferry services that connect the island to the main land destinations such as Kuala Perlis, Kuala Kedah and Penang. Ferry services from Kuala Perlis (Perlis) to Kuah (Langkawi Island) are the main modes of transportation among tourists as they offer lower fares as compared to the cost of air fares. As the number of tourists increase, especially during festive seasons and school holidays, passengers using the ferry services have to wait a longer time before boarding. Additional trips need to be undertaken by the company which could incur an extra cost. An optimization model has been developed using linear programming (PL) technique to minimize the waiting times of excess passengers for the round trips between Kuah and Kuala Perlis based on the

appropriate selection of the ferry's capacity that corresponds to the number of passengers and a new scheduling system. The results indicate that the waiting time for passengers can be reduced without having additional trips.

**Keywords** Linear programming (LP); optimization; scheduling, waiting time, excess passengers, Langkawi Island ferry services

## Pengenalan Pengaturcaraan Linear (PL)

Pengaturcaraan linear (PL) merupakan salah satu teknik penyelidikan operasi. Teknik ini digunakan khususnya bagi menyelesaikan masalah perancangan, penjadualan sistem pengangkutan dan pengagihan sumber. Pengagihan sumber melibatkan ruang, masa, wang, tenaga manusia, bahan mentah dan sebagainya adalah dengan cara terbaik dengan matlamat utama untuk mendapatkan keuntungan maksimum di samping kos diminimumkan. Selain itu, ia boleh digunakan untuk meminimumkan kesesakan lalu lintas atau memaksimumkan penjadualan sistem penerbangan.

George Bernard Dantzig, seorang ahli saintis dan matematik Amerika membangunkan PL pada akhir 1940-an. Beliau dikenali kerana sumbangannya dalam pengaturcaraan linear dari segi pembangunan kaedah simpleks, satu algoritma untuk menyelesaikan masalah pengaturcaraan linear. Di dalam buku beliau bertajuk, *Linear Programming and Extensions*, beliau banyak melihat pelbagai contoh masalah dunia sebenar bidang pengoptimuman dan telah membangunkan kaedah pengaturcaraan linear untuk mendapatkan penyelesaiannya. Beliau bermula dengan memperkenalkan teori asas ketidaksamaan linear dan menggunakan kaedah simpleks untuk menyelesaikan masalah-masalah tersebut. Beliau menyatakan pembangunan yang luar biasa dalam bidangnya termasuk penyelidikan dalam teori matematik, analisis ekonomi dan masalah-masalah aplikasi dalam bidang perindustrian (Dantzig 1963).

Sehingga kini, terdapat pelbagai teknik penyelidikan operasi digunakan dalam menyelesaikan masalah laluan dan penjadualan sistem pengangkutan. Lai & Lo (2004) menggunakan kaedah heuristik berjaya membangunkan satu formulasi masalah rekabentuk rangkaian feri dengan mempertimbangkan saiz feri, laluan dan penjadualan bagi perkhidmatan perjalanan terus dan perjalanan henti-henti. Model ini diformulasikan sebagai model integer campuran pelbagai destinasi-asal masalah aliran rangkaian dengan kapasiti feri dijadikan faktor kekangan. Untuk menyelesaikan masalah secara praktikal, kajian ini menggunakan kaedah heuristik yang mengaplikasikan polinomial masa prestasi algoritma laluan terpendek. Model ini telah diuji di Hong Kong untuk mengkaji keberkesannya.

Terbaru, model pengaturcaraan integer bagi masalah penjadualan feri dibina oleh Karapetyan & Punnen (2013). Model ini dibina dengan mempertimbangkan kekangan masa mengendalikan aktiviti pemunggaan iaitu menurunkan serta memuatkan barangan, penjadualan krew dan pemindahan penumpang. Hasil kajian ini adalah satu algoritma pengaturcaraan integer dapat disediakan dalam menyelesaikan masalah penjadualan feri bersaiz sederhana. Antara kajian literatur lain yang mempertimbangkan masalah penjadualan sistem pengangkutan dibuat oleh Wang *et al.* (2008).

PL telah meluas digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah pengangkutan seperti masalah pengangkutan logistik antarabangsa (García *et al.*, 2013) dan masalah

penjadualan projek (Koné *et al.*, 2013). Aplikasi-aplikasi PL yang lain boleh didapati dalam kertas kerja oleh Ponnambalam *et al.* (1992), Ahmad (1996), Boudhar & Haned (2009).

## **Pernyataan Masalah**

Langkawi merupakan salah satu daripada daerah dalam negeri Kedah, Malaysia. Pulau yang kaya dengan keindahan semula jadi dan lagenda masa silam ini telah menampilkan sebagai salah satu daripada destinasi perlancongan yang popular di Malaysia. Untuk ke Pulau Langkawi terdapat dua jenis pengangkutan yang lazim digunakan iaitu pengangkutan udara dan jalan laut. Bagi laluan udara, Langkawi mempunyai lapangan terbang antarabangsa yang besar, iaitu Lapangan Terbang Antarabangsa Langkawi. Antara syarikat yang menyediakan penerbangan ke Pulau Langkawi adalah AirAsia (Kuala Lumpur), Thai AirAsia (Bangkok), Penerbangan Malaysia (Kuala Lumpur dan Johor Bahru), Firefly (Subang dan Pulau Pinang), Singapore Airlines dari Singapura. Melalui jalan laut pula, perkhidmatan feri turut menjadi tumpuan. Dari jeti Kuah, terdapat kemudahan feri yang menghubungkan Satun di selatan Thailand, Pulau Pinang, Kuala Kedah dan Kuala Perlis di Semenanjung Malaysia.

Dalam kajian ini, laluan perkhidmatan feri antara Kuah dan Kuala Perlis menjadi fokus kajian ini kerana permintaan yang tinggi di kalangan pelancong ke Pulau Langkawi disebabkan tempoh masa yang singkat dianggarkan kurang satu jam untuk sampai ke Pulau Langkawi. Sistem penjadualan sedia ada oleh syarikat perkhidmatan feri adalah baik, namun kesesakan berlaku apabila berhadapan musim puncak seperti musim cuti sekolah dan musim perayaan seperti perayaan Krismas. Sekiranya pelancong terlepas feri pada pada sesuatu masa perjalanan, mereka akan dikategorikan sebagai lebih penumpang yang harus menunggu feri berikutnya. Senario ini berterusan sekiranya bilangan penumpang terlalu ramai mengakibatkan masa menunggu yang lebih lama. Oleh itu, syarikat pengusaha feri akan membuat tambahan feri untuk mengatasi masalah ini namun kes lebih penumpang pasti tidak dapat dielakkan jika berhadapan dengan bilangan pelancong terlalu ramai.

Dua waktu puncak dikenalpasti iaitu waktu pagi laluan Kuala Perlis ke Kuah dan waktu petang perjalanan feri Kuah ke Kuala Perlis. Daripada data yang diperolehi, bilangan penumpang ke Pulau Langkawi lebih ramai pada waktu pagi musim cuti sekolah dan perayaan berbanding pada waktu petang. Akibatnya, jika penumpang terlepas pada feri pertama pada awal pagi, mereka terpaksa menunggu feri berikutnya. Dalam keadaan tertentu, penumpang perlu menunggu melebihi dua perjalanan sesebuah feri sekaligus merugikan masa penumpang. Situasi sama turut berlaku kepada penumpang sewaktu perjalanan pulang dari Kuah ke Kuala Perlis. Penumpang biasanya memilih untuk pulang bermula pada waktu tengah hari sehingga petang.

Objektif kajian ini adalah untuk meminimumkan lebih penumpang bagi laluan perjalanan feri Kuah dan Kuala Perlis. Inisiatif ini dibuat untuk membantu syarikat pengusaha feri mengurangkan bilangan lebih penumpang feri sekaligus mengurangkan masa menunggu penumpang. Idea utama model ini adalah dengan membuat pemilihan feri yang bersesuaian dengan anggaran penumpang serta perancangan dan penjadualan semula perjalanan feri. Dalam proses pelaksanaannya, anggaran penumpang ini akan dibuat oleh syarikat pengusaha feri berdasarkan permintaan dan rekod kemasukan penumpang ke Pulau Langkawi pada tahun-tahun sebelumnya. Satu model pengoptimuman dibina di mana PL

berfungsi membantu syarikat pengusaha feri membuat pemilihan kapasiti feri yang sesuai dan diuji dengan data sebenar.

### **Pembolehubah Keputusan**

Beberapa definisi pembolehubah berkaitan model kajian diperkenalkan dalam kajian ini. Pertama, pembolehubah  $L_i$  didefinisikan sebagai bilangan lebih penumpang pada perjalanan feri Kuah-Kuala Perlis. Pembolehubah  $K_i$  adalah bilangan lebih penumpang feri laluan Kuala Perlis-Kuah di mana  $i$  adalah merujuk kepada bilangan perjalanan yang akan dibuat. Pembolehubah yang diwakili dengan huruf  $A, B$  dan  $C$  adalah pembolehubah bagi menunjukkan jenis feri dengan kapasiti berbeza yang akan dipilih untuk laluan Kuah ke Kuala Perlis manakala pembolehubah yang diwakili dengan huruf  $D, E$  dan  $F$  adalah pembolehubah bagi menunjukkan jenis feri dengan kapasiti berbeza yang akan dipilih untuk perjalanan dari jeti Kuala Perlis ke Kuah.

Pembolehubah-pembolehubah  $h, l$  dan  $t$  adalah mewakili kapasiti feri syarikat P, syarikat Q dan syarikat R. Seterusnya adalah pembolehubah  $Z_i$  iaitu kapasiti feri yang terpilih pada perjalanan Kuah ke Kuala Perlis manakala  $Y_i$  adalah kapasiti feri yang terpilih pada perjalanan Kuala Perlis ke Kuah. Perkhidmatan feri laluan Kuah-Kuala Perlis diuruskan oleh satu konsortium yang dimiliki oleh lima syarikat. Dalam kajian ini, kami mengecilkkan skop dengan hanya menggunakan tiga syarikat untuk menentukan perancangan dan penjadualan semula perjalanan. Rasional tiga syarikat digunakan kerana ketiga-tiga syarikat ini adalah syarikat yang memiliki pegangan terbesar di dalam konsortium ini berbanding dua syarikat lain. Pecahan-pecahan syer untuk setiap syarikat dianggarkan seperti berikut. Syarikat P dan Syarikat Q masing-masing sebanyak 37% syer manakala Syarikat R dengan pecahan syer sebanyak 26%. Tiga syarikat perkhidmatan feri dinamakan seperti berikut. Syarikat pertama diwakili oleh syarikat P, syarikat kedua diwakili oleh syarikat Q dan syarikat ketiga diwakili oleh Syarikat R.

Di samping itu juga, pembolehubah  $T_i$  dan  $M_i$  diperkenalkan. Pembolehubah  $T_i$  merujuk kepada anggaran bilangan penumpang feri laluan Kuah ke Kuala Perlis pada satu masa perjalanan manakala  $M_i$  merujuk kepada anggaran bilangan penumpang feri laluan Kuala Perlis ke Kuah pada satu masa perjalanan feri.

### **Pembinaan Model**

Satu sistem pemilihan feri dibangunkan melalui model pengoptimuman supaya ia dapat meminimumkan lebih penumpang feri bagi kedua-dua laluan Kuah dan Kuala Perlis. Wujud beberapa kuantiti batasan yang perlu dipatuhi bagi mencapai objektif kajian ini. Syarikat pengusaha feri terbatas dengan had kapasiti feri untuk mengisi penumpang disebabkan kapasiti feri adalah berbeza.

Selain itu, jumlah bilangan perjalanan bagi feri juga perlu mengikut pecahan syer syarikat. Berasaskan kepada pecahan syer diterangkan seperti di atas, satu penjadualan baru diperkenalkan bagi musim puncak ini dengan telah menetapkan 13 perjalanan pergi balik. Syarikat P dan Syarikat Q masing-masing akan mendapat 5 perjalanan pergi balik manakala Syarikat R akan memperoleh 3 perjalanan pergi balik. Kami cuba mengurangkan

bilangan feri tambahan ketika musim puncak yang menjadi amalan syarikat pengusaha feri di sini.

Kekangan yang lain perlu dipatuhi adalah jenis perjalanan feri mestilah secara dua hala. Mana-mana feri yang berlepas ke sesuatu destinasi perlu pulang ke destinasi asal bagi melicinkan jadual perjalanan yang dibina. Syarat lain bagi kekangan ini adalah, masa perjalanan dan masa untuk mengambil penumpang memerlukan masa anggaran 1 jam 30 minit. Keadaan dan keupayaan jeti di Kuala Perlis juga hanya membenarkan dua feri sahaja berlabuh pada sesuatu masa. Had dan keupayaan ini bermaksud mana-mana kapal tidak dibenarkan menunggu lebih lama untuk mengisi penumpang di jeti Kuala Perlis. Di samping itu, kekangan lain yang perlu dipatuhi adalah menetapkan bahawa pelepasan maksimum dua feri sahaja dibenarkan dalam sesuatu masa di jeti.

Langkah-langkah asas untuk membentuk model PL dirumuskan seperti berikut. Pembolehubah keputusan,  $L_i + K_i =$  bilangan lebih penumpang pada perjalanan feri Kuala-Kuala Perlis dan bilangan lebih penumpang pada perjalanan feri Kuala Perlis-Kuah bagi perjalanan  $i, i = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13$ .

Model PL, Minimumkan

$$\sum_{i=1}^{13} L_i + \sum_{i=1}^{13} K_i \quad (1)$$

tertakluk kepada persamaan-persamaan kekangan (2)-(15) di bawah.

Persamaan di bawah adalah kekangan berdasarkan sekurang-kurangnya satu feri berlepas untuk satu masa pelepasan bagi satu perjalanan dari jeti Kuah ke Kuala Perlis (2) dan jeti Kuala Perlis dan Kuah (3),

$$\sum_{j=1}^5 A_{i,j} + \sum_{j=1}^5 B_{i,j} + \sum_{j=1}^5 C_{i,j} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^5 D_{i,j} + \sum_{j=1}^5 E_{i,j} + \sum_{j=1}^4 F_{i,j} = 1 \quad (3)$$

bagi  $i = 1, 2, \dots, 13$ .

Penentuan pemilihan feri yang bersesuaian berdasarkan anggaran bilangan penumpang bagi perjalanan laluan Kuah ke Kuala Perlis diwakili pembolehubah  $T_i$  diberikan oleh persamaan (4) dan anggaran bilangan penumpang bagi perjalanan laluan Kuala Perlis ke Kuah, diwakili pembolehubah  $M_i$  diberikan oleh persamaan (5) di bawah. Berdasarkan anggaran penumpang ini, PL akan membantu memilih feri dengan kapasiti yang bersesuaian bagi kedua-dua arah perjalanan.

$$\sum_{j=1}^5 A_{i,j^h j} + \sum_{j=1}^5 B_{i,j^l j} + \sum_{j=1}^4 C_{i,j^l j} = Z_i \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^5 D_{i,j^h j} + \sum_{j=1}^5 E_{i,j^l j} + \sum_{j=1}^4 F_{i,j^l j} = Y_i \quad (5)$$

bagi  $i = 1, 2, \dots, 13$ .

Dalam pembinaan model ini, kapasiti feri yang berbeza adalah ditetapkan menggunakan lima saiz berbeza (bagi Syarikat P dan Q) dan empat saiz (syarikat R) adalah seperti berikut:

$$h_1 = 160, h_2 = 450, h_3 = 290, h_4 = 255, h_5 = 338 \text{ (syarikat P)}$$

$$l_1 = 420, l_2 = 380, l_3 = 218, l_4 = 320, l_5 = 160 \text{ (syarikat Q)}$$

$$t_1 = 400, t_2 = 350, t_3 = 280, t_4 = 240 \text{ (syarikat R)}$$

Persamaan (6), (7) dan (8) di bawah berdasarkan bilangan perjalanan yang diperolehi seperti ditetapkan. Syarikat P dan syarikat Q masing-masing ditetapkan mempunyai lima perjalanan pergi balik serta syarikat R mempunyai tiga perjalanan pergi balik, maka persamaan kekangan adalah seperti berikut.

$$\sum_{i=1}^5 P_i = 5 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^5 Q_i = 5 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^4 R_i = 3 \quad (8)$$

Persamaan (9) di bawah menunjukkan perjalanan feri adalah secara dua hala.

$$\begin{aligned} Z_1 - Y_3 = 0, Z_2 - Y_4 = 0, Z_3 - Y_5 = 0, Z_4 - Y_6 = 0, Z_5 - Y_7 = 0, Z_6 - Y_8 = 0, \\ Z_7 - Y_9 = 0, Z_8 - Y_{10} = 0, Z_9 - Y_{11} = 0, Z_{10} - Y_{12} = 0, Z_{11} - Y_{13} = 0, Z_{12} - Y_1 = 0, \\ Z_{13} - Y_2 = 0 \end{aligned} \quad (9)$$

Persamaan (10) dan persamaan (11) menunjukkan definisi lebih penumpang dari Kuah ke Kuala Perlis dan Kuala Perlis ke Kuah,

$$L_i = T_i - Z_i \quad (10)$$

$$K_i = M_i - Y_i \quad (11)$$

bagi  $i = 1, 2, \dots, 13$ .

Bagi memastikan tiada lebih penumpang bagi perjalanan Kuah ke Kuala Perlis untuk satu tempoh pelepasan feri, persamaan (12) dan (13) diperlukan. Persamaan (14) dan persamaan (15) dibuat bagi memastikan tiada lebih penumpang bagi perjalanan Kuala Perlis ke Kuah.

$$L_i + T_{i+1} \leq Z_{i+1} \quad (12)$$

$$L_{13} + T_1 \leq Z_1 \quad (13)$$

$$K_i + M_{i+1} \leq Y_{i+1} \quad (14)$$

$$K_{13} + M_1 \leq Y_1 \quad (15)$$

bagi  $i = 1, 2, \dots, 13$ .

## Andaian Kajian

Beberapa andaian telah dibuat dalam kajian ini bagi menghasilkan keputusan optimum. Andaian pertama adalah melibatkan keadaan fizikal feri dan jeti pendaratan. Antaranya kami beranggapan bahawa tiada kerosakan enjin feri semasa perjalanan feri pergi dan balik. Andaian ini perlu dibuat untuk memastikan sistem perjadualan feri yang dibangunkan dipatuhi. Keadaan struktur jeti yang sedia ada dianggap berada dalam keadaan baik agar ia tidak mengganggu tempoh masa pendaratan feri.

Andaian kedua yang dibuat melibatkan faktor cuaca dan air pasang surut. Keadaan air pasang dan surut air laut yang menjadi penyebab kelewatan feri mendarat di sesuatu jeti juga diabaikan oleh kerana kelewatan hanya melibatkan masa kurang dari 15 minit. Kajian ini tidak mengambil kira kos sumber tenaga manusia dan kos minyak setiap perjalanan feri bagi kedua-dua arah perjalanan. Kos bahan api juga diabaikan dalam pembinaan model ini kerana julat kos penggunaan minyak antara feri kapasiti besar dan kecil adalah kecil. Beberapa pembolehubah seperti pembolehubah  $A_{i,j}, B_{i,j}, C_{i,j}, D_{i,j}, E_{i,j}$  dan  $F_{i,j}$  diwakilkan dengan nilai binari iaitu 0 dan 1. Pembolehubah-pembolehubah bagi  $Z_i, Y_i, T_i$  dan  $M_i$  kami menggunakan nilai-nilai integer positif supaya ianya relevan dengan kajian penyelidikan ini.

## Pengumpulan Data dan Pelaksanaan Model

Data-data diperolehi daripada konsortium yang mengendalikan syarikat pengusaha feri Kuah dan Kuala Perlis. Data-data adalah seperti jadual perjalanan feri, bilangan feri, kapasiti feri bagi setiap syarikat pengusaha dan jumlah kemasukan pelancong. Data-data tersebut adalah berdasarkan kepada beberapa musim-musim seperti musim cuti sekolah, musim perayaan (hari Krismas), cuti hujung minggu biasa (Sabtu dan Ahad) dan hari bekerja biasa (Isnin hingga Khamis).

Tujuan data ini dikumpul mengikut musim-musim tertentu adalah untuk mendapatkan input data yang tepat berkaitan pelaksanaan perkhidmatan feri yang dijalankan dan menentukan kekerapan bilangan feri yang digunakan pada musim-musim berbeza. Untuk menyelesaikan model PL ini, kami menggunakan perisian LINGO 11.0 untuk mendapatkan penyelesaian optimum. Beberapa ujian terhadap model yang dibina dengan menggunakan data sebenar bagi menguji keupayaan model untuk meminimumkan fungsi objektif kajian ini.

## Hasil dan Perbincangan

Satu ujian telah dilakukan dengan menggunakan data pada Jadual 1 bagi perjalanan biasa laluan Kuah-Kuala Perlis dan Jadual 2 menunjukkan data bagi laluan Kuah-Kuala Perlis pada musim perayaan Krismas Disember 2009. Jadual 3 pula menunjukkan sistem perjadualan baru yang menggunakan data Jadual 1 dan Jadual 2. Keputusan pemilihan kapasiti feri berdasarkan kod-kod pemilihan feri yang diperkenalkan yang dirumuskan pada Jadual 4 dan Jadual 5.

**Jadual 1** Data perjalanan laluan Kuah-Kuala Perlis

Bilangan perjalanan	Masa	Bilangan penumpang	Tambahan Penumpang
1	0730	127	
1	0830	276	
1	1000	338	
2	1100	220	192
1	1230	380	
1	1330	194	
2	1430	264	330
2	1600	234	237
1	1700	204	
1	1730	208	
3	1900	134	195+128
Perjalanan biasa=11 Tambahan perjalanan=5 Jumlah perjalanan=16		Jumlah Penumpang	3661

**Jadual 2** Data perjalanan laluan Kuala Perlis-Kuah

Bilangan perjalanan	Masa	Bilangan penumpang	Tambahan Penumpang
1	0800	145	
1	0900	292	
1	1030	295	
2	1100	340	285
1	1230	330	
2	1330	235	205
1	1400	380	
2	1630	278	157
2	1700	285	134
1	1730	289	
1	1900	254	
Perjalanan biasa=11 Tambahan perjalanan=4 Jumlah perjalanan=15		Jumlah Penumpang	3904



**Jadual 3** Sistem penjadualan baru

Bilangan perjalanan	Laluan Kuah-Kuala Perlis		Laluan Kuala Perlis-Kuah	
	Masa	Bilangan penumpang	Masa	Bilangan penumpang
1	0930	276	0800	292
1	1030	338	0930	295
1	1130	412	1100	340
1	1230	380	1200	285
1	1330	194	1300	330
1	1500	400	1400	205
1	1530	194	1500	235
1	1600	400	1630	380
1	1700	275	1700	435
1	1730	208	1730	419
1	1900	228	1830	289
1	1900	229	1900	254
Jumlah Perjalanan=13		Jumlah Penumpang=3661	Jumlah Perjalanan=13	Jumlah Penumpang=3904

**Jadual 4** Jadual pemilihan feri laluan Kuah-Kuala Perlis

Anggaran Penumpang	Perjalanan	Kuah-Kuala Perlis															
		Saiz Feri	160	450	290	255	338	420	380	218	320	160	400	350	280	240	
		Masa	P1	P2	P3	P4	P5	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	R1	R2	R3	R4	
T=127	1 (Z1)	0800	A1,1	A1,2	A1,3	A1,4	A1,5	B1,1	B1,2	B1,3	B1,4	B1,5	C1,1	C1,2	C1,3	C1,4	
T=276	2 (Z2)	0930	A2,1	A2,2	A2,3	A2,4	A2,5	B2,1	B2,2	B2,3	B2,4	B2,5	C2,1	C2,2	C2,3	C2,4	
T=338	3 (Z3)	1030	A3,1	A3,2	A3,3	A3,4	A3,5	B3,1	B3,2	B3,3	B3,4	B3,5	C3,1	C3,2	C3,3	C3,4	
T=412	4 (Z4)	1130	A4,1	A4,2	A4,3	A4,4	A4,5	B4,1	B4,2	B4,3	B4,4	B4,5	C4,1	C4,2	C4,3	C4,4	
T=380	5 (Z5)	1230	A5,1	A5,2	A5,3	A5,4	A5,5	B5,1	B5,2	B5,3	B5,4	B5,5	C5,1	C5,2	C5,3	C5,4	
T=194	6 (Z6)	1330	A6,1	A6,2	A6,3	A6,4	A6,5	B6,1	B6,2	B6,3	B6,4	B6,5	C6,1	C6,2	C6,3	C6,4	
T=400	7 (Z7)	1500	A7,1	A7,2	A7,3	A7,4	A7,5	B7,1	B7,2	B7,3	B7,4	B7,5	C7,1	C7,2	C7,3	C7,4	
T=194	8 (Z8)	1530	A8,1	A8,2	A8,3	A8,4	A8,5	B8,1	B8,2	B8,3	B8,4	B8,5	C8,1	C8,2	C8,3	C8,4	
T=400	9 (Z9)	1600	A9,1	A9,2	A9,3	A9,4	A9,5	B9,1	B9,2	B9,3	B9,4	B9,5	C9,1	C9,2	C9,3	C9,4	
T=275	10 (Z10)	1700	A10,1	A10,2	A10,3	A10,4	A10,5	B10,1	B10,2	B10,3	B10,4	B10,5	C10,1	C10,2	C10,3	C10,4	
T=208	11 (Z11)	1730	A11,1	A11,2	A11,3	A11,4	A11,5	B11,1	B11,2	B11,3	B11,4	B11,5	C11,1	C11,2	C11,3	C11,4	
T=228	12 (Z12)	1900	A12,1	A12,2	A12,3	A12,4	A12,5	B12,1	B12,2	B12,3	B12,4	B12,5	C12,1	C12,2	C12,3	C12,4	
T=229	13 (Z13)	1900	A13,1	A13,2	A13,3	A13,4	A13,5	B13,1	B13,2	B13,3	B13,4	B13,5	C13,1	C13,2	C13,3	C13,4	

Jadual 5 Jadual pemilihan feri laluan Kuala Perlis-Kuah

		Kuala Perlis-Kuah													
Anggaran Penumpang	Perjalanan	Masa													
		Saiz Feri	160	450	290	255	338	420	380	218	320	160	400	350	280
		S1	S2	S3	S4	S5	U1	U2	U3	U4	U5	V1	V2	V3	V4
M=145 (Y1)	0700	D1,1	D1,2	D1,3	D1,4	D1,5	E1,1	E1,2	E1,3	E1,4	E1,5	F1,1	F1,2	F1,3	F1,4
M=292 (Y2)	0800	D2,1	D2,2	D2,3	D2,4	D2,5	E2,1	E2,2	E2,3	E2,4	E2,5	F2,1	F2,2	F2,3	F2,4
M=295 (Y3)	0930	D3,1	D3,2	D3,3	D3,4	D3,5	E3,1	E3,2	E3,3	E3,4	E3,5	F3,1	F3,2	F3,3	F3,4
M=340 (Y4)	1100	D4,1	D4,2	D4,3	D4,4	D4,5	E4,1	E4,2	E4,3	E4,4	E4,5	F4,1	F4,2	F4,3	F4,4
M=285 (Y5)	1200	D5,1	D5,2	D5,3	D5,4	D5,5	E5,1	E5,2	E5,3	E5,4	E5,5	F5,1	F5,2	F5,3	F5,4
M=330 (Y6)	1300	D6,1	D6,2	D6,3	D6,4	D6,5	E6,1	E6,2	E6,3	E6,4	E6,5	F6,1	F6,2	F6,3	F6,4
M=205 (Y7)	1400	D7,1	D7,2	D7,3	D7,4	D7,5	E7,1	E7,2	E7,3	E7,4	E7,5	F7,1	F7,2	F7,3	F7,4
M=235 (Y8)	1500	D8,1	D8,2	D8,3	D8,4	D8,5	E8,1	E8,2	E8,3	E8,4	E8,5	F8,1	F8,2	F8,3	F8,4
M=380 (Y9)	1630	D9,1	D9,2	D9,3	D9,4	D9,5	E9,1	E9,2	E9,3	E9,4	E9,5	F9,1	F9,2	F9,3	F9,4
M=435 (Y10)	1700	D10,1	D10,2	D10,3	D10,4	D10,5	E10,1	E10,2	E10,3	E10,4	E10,5	F10,1	F10,2	F10,3	F10,4
M=419 (Y11)	1730	D11,1	D11,2	D11,3	D11,4	D11,5	E11,1	E11,2	E11,3	E11,4	E11,5	F11,1	F11,2	F11,3	F11,4
M=289 (Y12)	1830	D12,1	D12,2	D12,3	D12,4	D12,5	E12,1	E12,2	E12,3	E12,4	E12,5	F12,1	F12,2	F12,3	F12,4
M=254 (Y13)	1900	D13,1	D13,2	D13,3	D13,4	D13,5	E13,1	E13,2	E13,3	E13,4	E13,5	F13,1	F13,2	F13,3	F13,4

Berdasarkan sistem penjadualan baru dari Jadual 3, keputusan daripada model pengoptimuman memberikan nilai pembolehubah-pemboleh  $L_i + K_i$  adalah sifar iaitu tiada lebih penumpang pada perjalanan feri Kuah-Kuala Perlis dan Kuala Perlis-Kuah. Keputusan model juga telah memberikan keputusan berdasarkan kod-kod pemilihan feri yang diperkenalkan yang dirumuskan pada Jadual 4 dan Jadual 5. Daripada Jadual 4 dan Jadual 5, model pengoptimuman telah membuat pemilihan feri yang sesuai dengan anggaran penumpang yang dibuat berdasarkan data sebenar. Data menunjukkan pengusaha feri menggunakan 16 perjalanan pergi balik iaitu termasuk 5 tambahan feri bagi memenuhi keperluan penumpang bagi laluan Kuah-Kuala Perlis dan 15 perjalanan laluan Kuala Perlis-Kuah. Dengan sistem penjadualan ini, bilangan perjalanan pergi balik dapat dikurangkan dengan menggunakan 13 bilangan perjalanan pergi balik sahaja. Didapati 3 perjalanan pergi balik laluan Kuah-Kuala Perlis dan 2 perjalanan pergi balik laluan Kuala Perlis-Kuah berjaya dikurangkan dengan jumlah penumpang yang sama. Ini sekaligus dapat membantu syarikat mengurangkan kos operasi feri.

Keputusan kajian juga menunjukkan ketiga-tiga syarikat perkhidmatan feri memperolehi bilangan perjalanan seperti yang ditetapkan mengikut pecahan syer syarikat. Syarikat P dan Syarikat Q masing-masing telah mendapat lima perjalanan pergi balik manakala Syarikat R memperoleh tiga perjalanan pergi balik. Perjalanan feri juga mengikut ketetapan secara dua hala dan ianya memenuhi idea pelaksanaan model pengoptimuman ini. Bagi memahami contoh pergerakan model ini, satu contoh pergerakan feri diterangkan. Bagi perjalanan pertama Kuah-Kuala Perlis, perjalanan pertama bermula jam 8.00 pagi akan menggunakan feri dari syarikat Q dengan feri Q4 terpilih. Ini dikenal pasti daripada Jadual 4 iaitu tanda gelap dibuat pada kod B(1,4). Setelah sampai di Kuala Perlis, feri yang sama akan pulang ke Langkawi pada jam 9.30 pagi sebagai perjalanan ke-16. Rujuk tanda gelap dibuat pada kod E(3,4) dalam Jadual 5. Pergerakan feri-feri lain pula adalah seperti berikut. Feri perjalanan ke-2 akan pulang sebagai perjalanan ke-17 diikuti feri perjalanan ke-3 akan pulang sebagai perjalanan ke-18 mengikut persamaan kekangan (9).

## **Cadangan dan Kesimpulan**

Antara cadangan yang boleh diteruskan melalui kajian ini adalah mengaplikasikan model bagi pelbagai musim puncak lain seperti acara sukan basikal Le Tour de Langkawi (LTDL) dan Pameran Aeroangkasa dan Maritim Antarabangsa Langkawi (LIMA) ataupun hari bekerja biasa. Kajian lanjutan boleh dilakukan dengan mempertimbangkan kos minyak dan sumber tenaga buruh.

Kesimpulannya, masalah lebih penumpang dan menunggu yang berlaku pada musim perayaan dan cuti sekolah dapat dielakkan dengan membuat pemilihan feri bersesuaian dengan anggaran bilangan penumpang. Kesan baik melalui pemilihan feri dan sistem penjadualan semula ini akan dinikmati oleh penumpang dan syarikat pengusaha feri. Penumpang feri tidak akan mengalami masalah menunggu sementara pihak konsortium pula akan dapat memberikan perkhidmatan yang terbaik kepada penumpang-penumpang mereka.

## Rujukan

- Ahmad, A.M. (1996). Theory and Methodology Linear programming model for finding optimal roadway grades that minimize earthwork cost. *European Journal of Operational Research* 93: 148-154.
- Boudhar, M. & Haned, A. (2009). Preemptive scheduling in the presence of transportation times. *Computers & Operations Research*, 36, 2387–2393.
- Dantzig, G.B. (1963). *Linear Programming and Extensions*. New Jersey: Princeton University Press.
- García, J., Florez, J.E., Torralba, Á., Borrajo, D., López, C.L., García-Olaya, Á. & Sáenz, J. (2013). Combining linear programming and automated planning to solve intermodal transportation problems. *European Journal of Operational Research*, 227, 216–226.
- Karapetyan, D. & Punnen, A.P. (2013). A reduced integer programming model for the ferry scheduling problem. *Public Transport*, 4, 151–163.
- Koné, O., Artigues, C., Lopez, P. & Mongeau, M. (2013). Comparison of mixed integer linear programming models for the resource-constrained project scheduling problem with consumption and production of resources. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 25, 25–7.
- Lai, M.F. & Lo, H.K. (2004). Ferry service network dNesign: Optimal fleet size, routing, and scheduling, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 38, 305–328.
- Ponnambalam, K., Vannelli, A. & Woo, S. April, (1992). An interior point method implementation for solving large planning problems in the oil refinery industry. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, Volume 70, Issue 2, 368–74.
- Wang, Z.W., Lo, H. & Lai, M.F. 2008. Mixed-fleet ferry routing and scheduling. *Computer-Aided Systems in Public Transport*, 600: 181-194.