

MASA MENUNGGU KERANA MASA LENGAH BAS DI PUTRAJAYA

Ruslawati Abdul Wahab*, Muhamad Nazri Borhan, Riza Atiq
Abdullah O.K. Rahmat

Pusat Penyelidikan Pengangkutan Bandar Mapan (SUTRA),
Jabatan Kejuruteraan Awam & Struktur, Fakulti Kejuruteraan &
Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Malaysia

Article history

Received

14 April 2016

Received in revised form

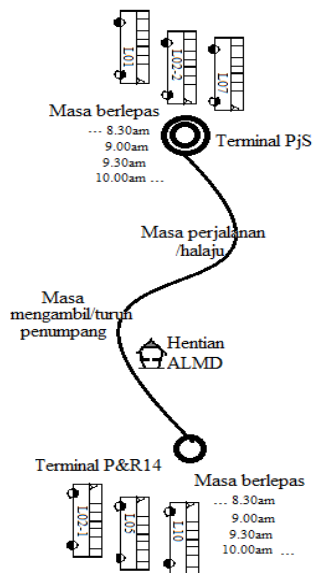
21 November 2016

Accepted

10 December 2016

*Corresponding author
rusraze@yahoo.com

Graphical abstract



Abstract

Passenger waiting time is included in the estimated travel time. Waiting time will be unstable and unpredictable in estimation because of inconsistencies of bus arrival times at stops. These can result an unreliable of bus service. This paper examines the waiting time due to three factors; delay resulting from inaccuracies of bus departure time, delay during the process of boarding and alighting passengers and delay when the bus unable to maintain constant velocity because of saturated traffic flow. The research used the combination of mathematical model and Design Expert Research Methodology Surface (RSM) applications which has pivotal role in acquire optimum waiting time based on constraints delay between two arrival times at stop. The optimum waiting time obtained from the output design target in range 0-15 minutes were 4 minutes for route L01 and 5.87 minutes for L05. The estimated waiting time obtained from this research can be used as a key feature in the design of buses operating to minimize the delay and at the same time get the reliability of passengers.

Keywords: Bus transportation, waiting time, delay, arrival time, optimum time, RSM

Abstrak

Masa menunggu merupakan masa yang diambil kira dalam anggaran jumlah masa perjalanan. Masalah menunggu menjadi kurang stabil dan tidak boleh diramalkan apabila masa ketibaan bas tidak konsisten di hentian. Ini boleh menyebabkan perkhidmatan bas kurang dipercayai. Kertas ini mengkaji masa menunggu disebabkan tiga faktor masa lengah yang terhasil iaitu ketidaktepatan masa bas berlepas, semasa mengambil dan menurunkan penumpang dan halaju bus yang tidak boleh dikekalkan kerana kesesakan aliran trafik. Kaedah kajian menggunakan gabungan matematik dan aplikasi reka bentuk pintar, Research Methodology Surface (RSM) ialah reka bentuk pertama yang mampu menjana nilai masa menunggu optimum berdasarkan kriteria kekangan masa lengah dan dua masa ketibaan. Hasil keputusan reka bentuk sasaran interval masa menunggu 0-15 minit memperolehi masa menunggu optimum bagi laluan L01 ialah 4 minit dan L05 ialah 5.87 minit. Anggaran masa menunggu yang diperolehi daripada aplikasi pintar ini boleh dijadikan sebagai ciri utama dalam merekabentuk operasi bus untuk mengatasi masa lengah dan sekaligus mendapat kebolehpercayaan penumpang.

Kata kunci: Pengangkutan bas, masa menunggu, masa lengah, masa ketibaan, masa optimum, RSM

© 2017 Penerbit UTM Press. All rights reserved

1.0 PENGENALAN

Menunggu bas di terminal atau hentian merupakan rutin yang dilakukan oleh seorang penumpang bas. Berbanding dengan masa akses ke hentian dan masa di dalam bas, masa menunggu adalah masa yang tidak boleh dikawal sepenuhnya oleh individu. Masa menunggu bergantung kepada jadual yang disediakan oleh pihak syarikat operasi bas, jarak kepala dan prestasi perkhidmatan yang ditawarkan oleh bas tersebut. Masalah masa menunggu yang sering terjadi apabila masa jarak kepala di dalam jadual bas sukar ditepati. Ini menyebabkan masa perjalanan penumpang bas secara keseluruhannya akan terjejas. Sekaligus menyebabkan hilangnya kebolehpercayaan terhadap perkhidmatan yang diharapkan.

Terdapat pelbagai sistem yang telah dikaji bagi menambahbaik perancangan masa perjalanan dan masa menunggu penumpang bas. Contohnya sistem informasi masa sebenar bas terkini menggunakan telefon pintar dengan pelbagai aplikasi yang berasaskan web, sistem *Automatic Vehicle Location*, AVL melalui GPS. Selain itu terdapat juga kemudahan mesin mesej elektronik, SVM di hentian yang memaparkan masa ketibaan bas dan sebagainya. Maklumat bas secara konvensional pula ialah melalui jadual yang ditampal di terminal atau hentian, menggunakan peta dan lain-lain. Sistem informasi masa ketibaan sebenar bas ini telah mengurangkan masa menunggu 0.7 minit iaitu sebanyak 13% [1].

Definisi masa menunggu berlaku kepada penumpang yang menunggu ketibaan bas yang akan membawa ke destinasi yang ditujunya samada ketibaan bas yang pertama atau pun keperluan semasa pertukaran bas. Ukuran masa menunggu biasanya adalah daripada meta analisis iaitu berdasarkan kepada masa jarak kepala. Masa menunggu dianggarkan separuh daripada perkhidmatan jarak kepala [2, 3, 4]. Masa lengah adalah masa yang terbuang disebabkan aktiviti secara tidak langsung dalam perkhidmatan bas seperti masa pecutan dan nyahpecutan bas, masa bas mula berlepas, masa mengambil dan menurunkan penumpang dan masa bersaing dengan aliran trafik di atas jalan atau halaju bas. Masa menunggu akan bertambah sekiranya masa lengah bertambah [5]. Perbezaan kedua-dua masa menunggu dan masa lengah ialah ia dimiliki oleh pengguna dan pihak operasi secara berasingan. Masa lengah termasuk dalam masa menunggu di hentian [6].

Terdapat dua jenis penumpang dalam kajian masa menunggu. Pertama penumpang tradisional yang menunggu bas berdasarkan maklumat pengalaman sendiri atau rakan dan kedua ialah pengguna yang mempunyai maklumat daripada sistem informasi masa ketibaan secara dalam talian ataupun jadual. Kajian oleh Watkins *et al.* [1] mendapati bagi penumpang bas tradisional, Q yang tidak dibekalkan informasi masa ketibaan bas mereka cenderung menganggap masa menunggu sebenar lebih besar daripada masa menunggu diukur. Sebaliknya bagi penumpang, R

yang mempunyai informasi masa ketibaan tidak menganggap demikian. Ini dibuktikan dengan perbezaan sebanyak 30% purata masa menunggu bagi penumpang R adalah 7.5 minit berbanding Q adalah 9.9 minit. Kajian oleh Wardman [2] menyatakan nilai masa menunggu adalah berbeza mengikut kepala memberi kesan lebih besar kepada masa lengah berbanding masa menunggu. Masa menunggu menjadi lebih singkat apabila frekuensi bas adalah tinggi [7].

Nilai masa menunggu penumpang adalah 2 hingga 3 kali ganda berbanding masa transit [8]. Masa menunggu mempunyai hubungan yang sangat kukuh dengan jarak kepala atau frekuensi bas [9]. Masa menunggu amat penting bagi seorang penumpang kerana masa tersebut termasuk di dalam masa perjalanannya secara keseluruhan. Masa menunggu juga penting bagi syarikat bas untuk merancang perkhidmatannya yang lebih efektif dan boleh dipercayai. Nilai masa menunggu daripada kajian Chang & Schonfeld [4] dan Chien *et al.* [3] ialah US \$10 per penumpang per jam.

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan lengah. Masa menunggu disebabkan masa lengah ialah lengah semasa bas berlepas di terminal dan tiba di hentian [5, 10], lengah kerana beratur di hentian disebabkan ketibaan yang bertindih, lengah memecut kerana faktor cerun [11], lengah semasa berhenti di hentian [12], lengah kerana aliran trafik di atas jalan [13, 14], lengah mengambil dan menurunkan penumpang [15], lengah di persimpangan [16], lengah berhenti di lampu isyarat dan lain-lain lagi. Pelbagai kajian telah dijalankan melibatkan masa menunggu dan masa lengah dari pelbagai aspek sama ada sebagai fungsi objektif atau pemboleh ubah dalam pengoptimuman [18-28]. Pendekatan yang digunakan ialah model matematik dan statistik [7, 18, 24, 25, 27], *Kalman Filter* [23] dan *Algoritma Genetik* [29].

Kajian sebelum ini banyak tertumpu kepada masa berjalan kaki ke hentian, masa menunggu dan masa di dalam bas yang melibatkan survei penumpang. Dalam kajian ulasan oleh Rojas *et al.* [22] menemui tempoh menunggu dapat dikurangkan sebanyak 61% menggunakan strategi mengawal dan mengambil penumpang dengan jumlah tertentu sahaja. Pena & Morena [25] menghasilkan model purata lengah maksimum bagi penumpang menaiki bas.

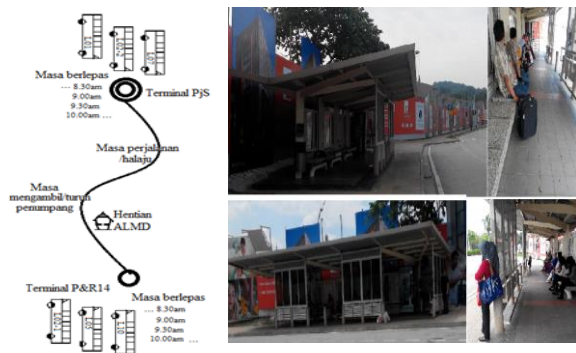
Permasalahan yang dihadapi penumpang di hentian ALMD Putrajaya ialah tiada maklumat masa ketibaan sebenar di hentian tersebut untuk dijangkakan. Masa menunggu menjadi lama jika penumpang sampai 8.10 minit di hentian, tetapi bas yang hendak dinaikinya tiba sebelum itu iaitu 8.05 minit. Ia akan menunggu sehingga bas yang kedua tiba dalam tempoh 8.30 hingga 9.00 pagi. Ini menjadikan tempoh menunggu menjadi lebih daripada 15 minit. Ditambah lagi dengan tiada jangkaan masa ketibaan menyebabkan penumpang resah [29] dan menimbulkan persepsi negatif sehingga menganggap bas tidak ada. Ini kerana penumpang

boleh membuat anggaran tempoh 30 minit bermula dari masa ketibaannya untuk menunggu di hentian.

Tiada kajian sebelum ini menggunakan gabungan matematik dan aplikasi reka bentuk pintar, *Response Surface Methodology-Central Composite Design* (RSM-CCD) untuk mendapatkan nilai masa optimum bagi masa menunggu dan masa lengah. Oleh itu fokus utama kertas ini untuk mengkaji masa menunggu akibat masa lengah yang berpunca daripada masa ketibaan bas yang tidak menentu menggunakan gabungan kaedah yang disebutkan dan sampel numerikal di Putrajaya. Hasil kajian ini diharapkan dapat meluaskan sumber ilmu pengangkutan dan menambah alternatif reka bentuk aplikasi pintar untuk menilai masa optimum menunggu di hentian dengan meminimumkan masa lengah dengan lebih cepat dan efisien.

2.0 METODOLOGI

Terdapat tiga proses dalam kajian iaitu pengumpulan data di tapak, pembangunan model matematik masa menunggu dan analisis fungsi optimum menggunakan aplikasi reka bentuk RSM-CCD. Pengumpulan data di tapak menggunakan jadual siri masa. Parameter yang dicerap ialah laluan bukan waktu puncak berkod(L), jarak kepala, masa perjalanan, masa lengah bas berlepas, masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang, halaju bas dan masa ketibaan bas.



Rajah 1 Lakaran lokasi laluan dan gambar hentian ALMD

Kajian dilakukan di Putrajaya di sebuah hentian ALMD dan lakaran laluan ditunjukkan seperti Rajah 1. Jarak kepala bus 30 minit bermula pada 6.30 pagi hingga 6.30 petang kecuali bagi L05 bermula pada 6.45 pagi hingga 6.45 petang. Kajian kes hentian ini dilakukan pada 28 hingga 31 Julai 2015 selama 4 hari. Cerapan masa ketibaan bas dan bilangan penumpang diambil dengan selaan 30 minit. Terdapat 6 laluan bertalian yang melalui hentian ini iaitu L01, L021, L022, L05, L07 dan L10. Bas berkod L01, L021 dan L07 bermula daripada terminal Putrajaya Sentral manakala selebihnya bermula daripada terminal P&R14. Kajian ini mengambil kira dua sampel laluan iaitu L01 dan L05 yang mempunyai jarak ke hentian cerapan masing-masing 14km dan 10km. Pengiraan

model masa menunggu iaitu persamaan 1, 2 dan 3 dibangunkan dengan ubah suai merujuk kepada Berebbi *et al.* [7] dan Yu *et al.* [14];

$$\text{Min} T_{ln}^w = T_{ien}^a x_{ij} - T_{ien}^h x_{ij} \tag{1}$$

$$\sum t_L^d = t_L^{dp} + t_L^r + t_L^{ab} \tag{2}$$

$$\sum T_j = \sum t_L^d \tag{3}$$

$T_{l,n}^w$

= masa menunggu penumpang

$T_{ien}^a x_{ij}$

= masa ketibaan sebenar mengikut laluan

$T_{ien}^h x_{ij}$

= masa ketibaan mengikut jarak kepala laluan

t_L^d

= masa lengah

$t_{l,n}^{dp}$

= masa berlepas mengikut jarak kepala

t_L^r

= masa perjalanan mengikut aliran trafik

t_L^{ab}

= masa lengah ambil/ turunkan penumpang,

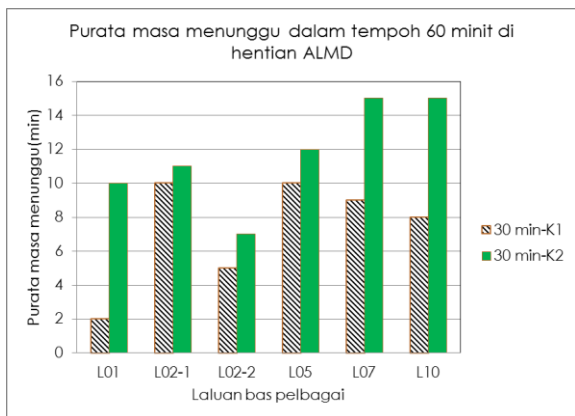
T_j

= tempoh perjalanan bas ke hentian

Hentian bas, ALMD mempunyai purata penumpang seramai 77 orang per jam. Ia merupakan hentian paling popular dengan pelbagai laluan kerana ia adalah transit dan hentian utama ke pusat membeli belah. Semasa data ini dicerap hentian ini tiada fasiliti sistem SVM atau jadual maklumat ketibaan bas. Hentian ini mempunyai tiga fungsi iaitu sebagai hentian terakhir bagi L01 dan L07 dan hentian perantara bagi L02, L05 dan L10. Ia juga hentian transit untuk penumpang mengambil bas seterusnya ke destinasi lain. Cerapan masa ketibaan bas seterusnya ke destinasi lain. Cerapan masa ketibaan bas berbanding masa yang telah dijadualkan. Sela 30 minit pertama dan kedua diasingkan untuk melihat perbezaan antara bas pertama dan kedua dalam minit 1 hingga minit 30 dan seterusnya minit 31 ke minit 60. Hasil cerapan dan pemerhatian daripada rutin frekuensi masa ketibaan bas menunjukkan masa menunggu bas secara keseluruhan ialah dalam purata 2 hingga 15 minit daripada masa sebenar ketibaan. Semasa cerapan rutin perjalanan didapati faktor jangkaan masa lengah yang paling ketara ialah masa lengah berlepas, masa mengambil dan menurunkan penumpang dan masa lengah semasa di atas jalan disebabkan kesesakan aliran trafik yang menyebabkan perubahan halaju. Faktor-faktor lain yang tidak diambil kira ialah lengah semasa lampu isyarat, lengah akibat pecutan/nyahpecutan, lengah ketika di selekoh atau bulatan dan lengah kerana ada penumpang bertanya destinasi.

Cerapan data dilakukan dengan durasi 30 minit sebagai satu pusingan. Data dibahagikan kepada 2 pusingan iaitu dalam tempoh 30 minit pertama dan 30 minit kedua. Sepanjang pemerhatian didapati ada

bas yang tiba terlalu awal dan terlalu lewat di hentian jika dibandingkan dengan masa perjalanan rutin.



Rajah 2 Masa lengah bersamaan masa menunggu dalam dua kitaran(K) 30 minit pertama dan kedua

Contohnya bas L05 akan tiba di hentian dengan frekuensi 2 kali dalam tempoh satu jam dengan masa ketibaan pertama pukul 8.00 dan keduanya 8.30 pagi, bas seterusnya tiba pukul 8.55 dengan lebih awal 5 minit daripada yang sepatutnya iaitu jam 9.00 dan bas seterusnya tiba pada jam 9.40 pagi dimana 10 minit lewat daripada masa yang ditetapkan iaitu jam 9.30. Ia berlaku pada jam berikutnya dan hari seterusnya. Oleh kerana ketidakselarasan masa ketibaan bas, penumpang terpaksa menunggu bas seterusnya dan sudah tentu penambahan masa menunggu berlaku. Rajah 2 menunjukkan masa menunggu penumpang di hentian ALMD dalam tempoh 2 hingga 15 minit mengikut rutin jam 8.00-8.30, 8.30-9.00, 9.00-9.30 dan seterusnya. Setelah mendapat nilai masa menunggu berdasarkan cerapan sebenar, proses pengoptimuman nilai masa menunggu dianalisis menggunakan aplikasi Design Expert- RSM-CCD.

Reka bentuk faktor yang digunakan ialah 3 dan 2 respon dengan nilai alpha 1 yang menghasilkan 50 reka bentuk sampel. Kajian ini menggunakan nilai-nilai kekangan iaitu masa lengah berlepas, masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang serta lengah aliran trafik yang diukur daripada halaju bas untuk mencapai pengoptimuman dipilih sama ada maksimum, minimum, sasaran, dalam selang atau pun sama dengan. Terdapat parameter tambahan yang boleh digunakan iaitu *weight* atau pemberat dimana dengan pemberat bernilai satu bagi nilai linear yang biasa digunakan. Jika pemberat lebih besar menunjukkan kepentingan sasaran adalah lebih besar dan begitulah sebaliknya.

3.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Tujuan utama kajian ini adalah untuk mengoptimumkan masa menunggu penumpang disebabkan lengah operasi bas menggunakan RSM. Aplikasi ini digunakan kerana ia membolehkan reka

bentuk bagi data sebenar yang menggunakan siri masa mendapat penyelesaian dalam masa yang lebih jimat [18]. Selain itu RSM-CCB ini juga merupakan aplikasi rekebentuk yang unik untuk dicuba sebagai alternatif mendapatkan reka bentuk optimum. Hasil keputusan dimulakan nilai analisis R^2 dan diikuti reka bentuk masa menunggu optimum dalam dua selang 30 minit bagi dua laluan untuk perbandingan.

3.1 Analisis R Squared (R^2)

R-Squared adalah penilaian statistik yang mengukur nisbah pemboleh ubah y dengan pemboleh ubah x Nisbah yang didapati menunjukkan pertalian hubungan data dengan garisan regresi. Ia juga adalah pekali penentuan kesesuaian model tersebut. Kajian ini menggunakan tiga jenis R^2 iaitu R^2 biasa, R^2 ubah suai dan R^2 ramalan. Penentuan terbaik sebuah model ditentukan ketiga-tiga nilai R^2 melebihi nisbah 50 peratus semua pemboleh ubah respon y dan faktor x. Penggunaan R^2 ubah suai dan R^2 ramalan diperlukan apabila melibatkan regresi pelbagai.

Jadual 1 Analisis masa menunggu model Kuadratik RSM Respons: Masa Menunggu kerana Lengah Operasi Bas ANOVA untuk Model Kuadratik RSM

Laluan Bas	L01	L05
R-Squared	0.71658	0.77822
Adj R-Squared	0.65281	0.72832
Pred R-Squared	0.59847	0.65585
Adeq Precision (AP)	14.94211	18.10467

Analisis R^2 ditunjukkan bagi reka bentuk masa menunggu dalam Jadual 1 bagi kedua-dua laluan. Didapati R^2 ubah suai bagi laluan L01 dan L05 ialah 65% dan 72% adalah munasabah dan boleh diterima dengan R^2 ramalan iaitu 59.8% dan 65.6%. Ia juga menunjukkan hubungan pemboleh ubah bagi masa menunggu kerana lengah antara masa menunggu sebenar dengan masa menunggu ramalan adalah memuaskan. Nilai statistik kesesuaian dan ketepatan(AP) pembangunan model matematik bagi meramal masa menunggu ialah 14.94 dan 18.104 juga adalah baik (*Adeq Precision* lebih besar daripada nilai 4). Walau bagaimana nilai R menghampiri nilai 1 menunjukkan hubungan respon adalah lebih baik.

3.2 Reka bentuk Masa Menunggu Optimum

Berikut nilai kriteria reka bentuk yang ditetapkan berdasarkan data pemerhatian di lapangan dan hasil penyelesaian optimum yang didapati daripada *Design Expert-RSM*. Semua kriteria faktor dimasukkan secara interval. Setelah itu faktor kekangan tersebut dijanakan. Bagi kriteria respon masa menunggu kerana lengah yang dihasilkan secara *default* ialah 0 hingga 20 minit. Nilai ini didapati tidak bertepatan dengan masa menunggu mengikut piawaian jarak kepala

yang ditetapkan iaitu sepatutnya dalam interval 0 hingga 15 minit. Oleh itu pengkaji akan membandingkan reka bentuk dengan mengubah kekangan respon bagi nilai masa menunggu kepada dua bahagian iaitu reka bentuk A dan reka bentuk B. Reka bentuk A) masa menunggu penumpang dalam selaan 0 - 20 minit dan B) masa menunggu dalam selaan 0 -15 minit. Semua sasaran kriteria diletakkan dalam had interval iaitu nilai masa minimum dan maksimum kerana kriteria didapati sukar dikawal. Pemberat bagi interval menjanakan nilai 1 bagi pengaruh kepentingan bernilai 3. Setiap reka bentuk ini perlu dibuat secara berasingan mengikut laluan.

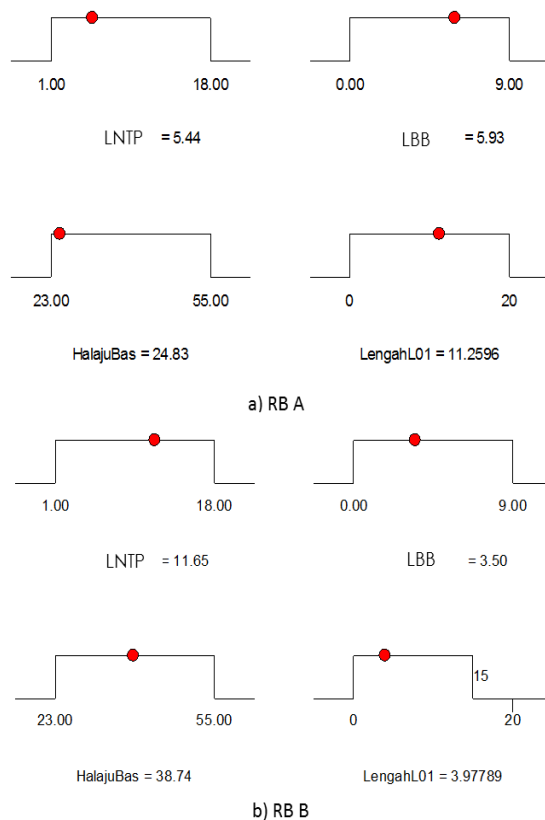
Jadual 2 Kriteria reka bentuk A dan B kekangan dan penyelesaian optimum masa menunggu bas L01

Constraints						
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
LNTF	is in range	1	18	1	1	3
LBB	is in range	0	9	1	1	3
HalajuBas	is in range	23	55	1	1	3
RB A-LengahL01	is in range	0	20	1	1	3
RB B-LengahL01		0	15			
Solutions RB A L01						
Number	LNTF	LBB	HalajuBas	LengahL01	Desirability	
1	5.440	5.93	24.83	11.2596	1.00	Selected
2	16.930	0.21	30.88	0.94047	1.00	
3	12.100	1.29	30.24	1.42254	1.00	
4	13.750	0.58	34.49	2.16371	1.00	
5	10.660	6.7	24.94	12.8255	1.00	
6	7.400	3.03	48.74	16.8124	1.00	
7	6.220	6.54	37.39	3.89637	1.00	
8	6.740	8.97	25.62	15.6567	1.00	
9	1.780	6.93	36.4	6.18299	1.00	
10	9.500	1.79	45.39	13.1407	1.00	
10 Solutions found						
Solutions RB B L01						
Number	LNTF	LBB	HalajuBas	LengahL01	Desirability	
1	11.65	3.5	38.74	3.97789	1	Selected
2	8.89	7.67	48.92	4.8195	1	
3	17.26	7.28	49.72	4.6052	1	
4	1.49	4.42	43.51	12.22	1	
5	13.06	8.69	53.57	4.30005	1	
6	11.05	6.16	51.12	9.65655	1	
7	5.31	5.53	45.32	8.61353	1	
8	10.87	1.26	39.83	6.55626	1	
9	11.25	8	33.52	5.10126	1	
10	2.36	1.93	33.5	6.43828	1	
10 Solutions found						

Laluan L01: Hasil reka bentuk bagi laluan L01 ditunjukkan di dalam Jadual 2 secara numerikal dan Rajah 3 secara ramp. Hasil janaan reka bentuk A dan B laluan L01 menghasilkan 10 penyelesaian dan janaan yang pertama dipilih berdasarkan keputusan desirabiliti

paling tinggi bernilai 1 dan nilai-nilai faktor serta respon yang optimum.

Paparan secara numerikal menunjukkan masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang ialah antara 1.78-16.93 saat, masa berlepas ialah 0.21-8.97 minit, halaju bas 24.83-48.74 km/j dan masa menunggu ialah 0.94 -16.81 minit. Bagi reka bentuk B keputusan menunjukkan masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang ialah 1.49-17.26 saat, lengah berlepas ialah 1.26-8.69 minit, halaju bas 33.5-53.57 km/j dan masa menunggu kerana lengah bagi L01 ialah 4 - 9.66 minit. Paparan ramp menunjukkan penyelesaian yang paling optimum iaitu masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang ialah 5.44 saat, masa berlepas ialah 3.5 minit, halaju bas 24.83 km/j dan masa menunggu optimum bagi L01 ialah 11.26 minit. Paparan ramp bagi reka bentuk B menunjukkan masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang ialah 11.65 saat, masa berlepas ialah 3.5 minit, halaju bas 38.74 km/j dan masa menunggu optimum kerana lengah bagi L01 ialah 4 minit.

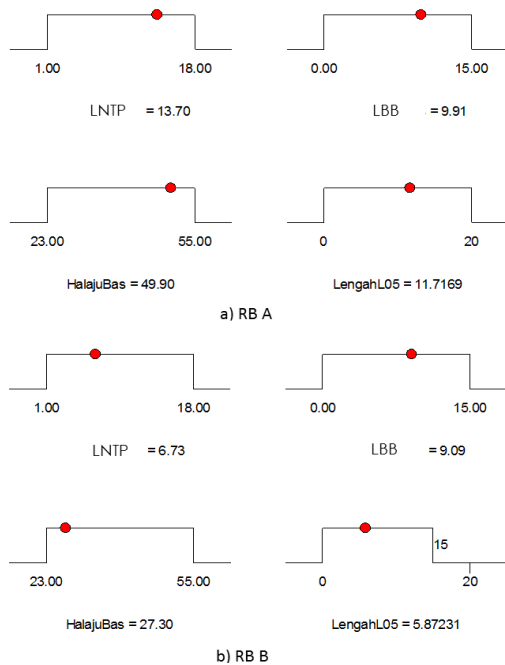


Rajah 3 Nilai optimum yang ditunjukkan secara ramp bagi reka bentuk A dan B Laluan L01

Laluan L05: Hasil reka bentuk bagi laluan L05 ditunjukkan di dalam Jadual 3 secara numerikal optimum dan Rajah 4 secara gambaran ramp optimum. Jadual numerikal memaparkan keseluruhan penyelesaian dengan terperinci dan lebih meluas. Paparan ramp lebih menfokuskan penyelesaian secara satu persatu dalam bentuk yang mudah dilihat dan dibaca.

Jadual 3 Kriteria reka bentuk A dan B kekangan dan penyelesaian optimum masa menunggu bas L05

Constraints						
Name	Goal	Lower Limit	Upper Limit	Lower Weight	Upper Weight	Importance
LNTP	is in range	1	18	1	1	3
LBB	is in range	0	15	1	1	3
HalajuBas	is in range	23	55	1	1	3
RB A-Lengahl05	is in range	0	20	1	1	3
RB B-Lengahl05	is in range	0	15	1	1	3
Solutions RB A L05						
Number	LNTP	LBB	HalajuBas	Lengahl05	Desirability	
1	13.7	9.91	49.9	11.7169	1	Selected
2	6.6	13.03	51.26	5.28812	1	
3	12.95	0.64	28.96	10.3898	1	
4	5.74	5.96	34.76	7.15492	1	
5	11.78	5.73	33.5	8.63531	1	
6	11.49	11.67	32.19	9.62968	1	
7	6.77	6.09	40.5	6.67357	1	
8	10.58	2.66	24.87	2.07112	1	
9	14.1	7.46	36.93	8.44161	1	
10	12.02	4.31	53.72	2.66058	1	
10 Solutions found						
Solutions RB B L05						
Number	LNTP	LBB	HalajuBas	Lengahl05	Desirability	
1	6.73	9.09	27.3	5.87231	1	Selected
2	7.58	7.19	46.46	3.25585	1	
3	6.14	5.05	39.21	5.97521	1	
4	12.97	13.18	33.69	11.0873	1	
5	9.87	7.93	32.48	8.72799	1	
6	14.12	1.27	29.56	7.76829	1	
7	7.94	0.56	46.27	6.39316	1	
8	9.89	11.34	27.72	5.38789	1	
9	8.59	5.84	47.11	4.08939	1	
10	9.87	6.42	50.5	2.68614	1	
10 Solutions found						
LNTP-LengahNaikTurunPenumpang, LB-Lengah bas berlepas, RB - Rekabentuk						



Rajah 4 Nilai optimum yang ditunjukkan secara ramp bagi reka bentuk A dan B laluan L05

Hasil janaan reka bentuk A dan B laluan L05 juga menghasilkan 10 penyelesaian dan janaan optimum yang pertama dipilih bagi nilai-nilai faktor serta respon dan keputusan *desirability* bernilai 1. Paparan secara numerikal menunjukkan bagi reka bentuk A masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang ialah antara 5.74-12.95 saat, lengah berlepas ialah 0.64-13.03 minit, halaju bas 24.87-51.26 km/j dan masa menunggu ialah antara 2.07 -11.72 minit. Bagi reka bentuk B keputusan menunjukkan masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang ialah 6.14–14.12 saat, lengah berlepas ialah 0.56-11.34 minit, halaju bas 27.3-46.46 km/j dan masa menunggu kerana lengah ialah antara 2.69- 11.09 minit. Paparan ramp menunjukkan penyelesaian yang pertama bagi reka bentuk A iaitu nilai-nilai optimum bagi masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang ialah 13.7 saat, masa berlepas ialah 9.91 minit, halaju bas 49.9 km/j dan masa menunggu optimum bagi L05 ialah 11.72 minit. Paparan ramp bagi reka bentuk B menunjukkan masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang ialah 6.73 saat, masa berlepas ialah 9.09 minit, halaju bas 27.3 km/j dan masa menunggu optimum kerana lengah bagi L05 ialah 5.87 minit.

Jadual 4 Perbandingan perbezaan peratusan penyelesaian reka bentuk A dan B

Faktor dan Respon	L01		Peratus Perbezaan	L05		Peratus Perbezaan
	RA A	RA B		RA A	RA B	
LNTP(saat)	5.440	11.65	72.674	13.7	6.73	68.233
LBB(minit)	5.93	3.5	51.538	9.91	9.09	8.632
HalajuBas(km/j)	24.83	38.74	43.763	49.9	27.3	58.549
MenunggukeranaLengah(min)	11.2596	3.97789	95.580	11.7169	5.87231	66.457
LNTP-LengahNaikTurunPenumpang, LBB-Lengah bas berlepas, RB - Rekabentuk						

Jadual 4 menunjukkan perbezaan di antara dua reka bentuk dengan perubahan kriteria respon masa menunggu dari 0-20 minit sebagai reka bentuk A dan 0-15 minit bagi reka bentuk B. Terdapat peratus perbezaan sebanyak 95.6 % bagi laluan L01 bagi respon masa menunggu iaitu daripada 11.26 minit ke 4 minit manakala laluan L05 peratus perbezaan ialah 66.5% perubahan masa menunggu daripada 11.71 minit ke 5.87 minit. Keputusan menunjukkan masa menunggu dikurangkan apabila masa lengah dikurangkan. Ia selari dengan kajian lepas yang menunjukkan masa menunggu <5 minit menggunakan model minimum jarak kepala [7], pengurangan masa menunggu dengan menyediakan masa ketibaan sebenar [20] dan nilai masa menunggu optimum 4 minit kerana lengah di hentian bas menggunakan model Poisson [27].

4.0 KESIMPULAN

Di dalam kajian ini, masa lengah dijadikan kriteria bagi mendapatkan masa menunggu yang optimum. Dengan menggunakan sampel numerikal di lapangan, gabungan aplikasi reka bentuk pintar RSM dan model matematik yang julung-julung kali dibangunkan sesuai dengan permasalahan yang berlaku. Hasil reka bentuk nilai masa lengah minimum; lengah bas berlepas, lengah penumpang naik/turun bas dan halaju mampu menjana masa menunggu optimum telah berjaya dijana dan didapati sangat praktikal dan boleh dijadikan panduan dalam strategi kawalan operasi bas untuk menambahbaik perkhidmatan. Reka bentuk pertama dan reka bentuk kedua dibezakan dengan satu kriteria masa menunggu masing-masing minimum dan interval 0 hingga 15 minit. Keputusan menunjukkan kriteria kekangan sangat sensitif terhadap nilai masa menunggu daripada 8 minit kepada 5 minit bagi laluan L01 dan 3 minit kepada 7 minit bagi laluan L05. Perbezaan nilai kriteria kekangan antara masa menunggu minimum dengan interval 0 minit ke 15 minit ialah 42% hingga 55%. Kajian ini tidak menggunakan data survei masa menunggu penumpang disebabkan anggaran tempoh masa yang diberikan terlalu bergantung kepada latarbelakang ekonomi dan sikap. Dengan itu pengiraan secara matematik diketengahkan untuk digunakan terutamanya bagi golongan penumpang yang mempunyai rutin ke tempat kerja dan mempunyai maklumat jadual bas. Kriteria reka bentuk masa lengah dan halaju menggunakan data cerapan yang mempunyai sela dan tidak menggunakan nilai purata yang sesuai dengan permasalahan lapangan. Dua reka bentuk dihasilkan dengan tiga faktor kriteria masa lengah berlepas, masa lengah mengambil dan menurunkan penumpang, halaju bas dan dua respon masa menunggu bagi dua laluan.

Kelemahan ketidaktepatan masa ketibaan yang difokuskan kepada masa lengah sebenarnya bukan hanya disebabkan amalan kerja pemandu bas, tetapi juga melibatkan keseluruhan sistem pihak operasi bas itu sendiri. Perkara ini seharusnya dielakkan bagi mencapai matlamat penggunaan 80% pengangkutan awam di Putrajaya. Dengan itu dicadangkan ketepatan masa berlepas boleh ditambahbaik dengan melatih pemandu secara konsisten dengan menerap nilai-nilai integriti yang tinggi serta amanah. Selain insentif gaji tetap yang berpatutan, kebajikan, pembangunan diri seperti kursus dan perbincangan perlu dibuat secara berkala. Kemudahan sistem dan peralatan seperti masa mesin tiket elektronik dapat diselaraskan dengan tepat mengikut piwalian yang ditetapkan dan menggunakan sistem pemantauan lokasi bas dengan lebih efektif bagi mengawal masa perjalanan bas. Pembangunan reka bentuk model optimum yang dihasilkan ini sebenarnya sangat fleksibel dan boleh diubah-ubah bagi mencapai sasaran yang dikehendaki oleh pihak syarikat bas. Ia bergantung dan sensitif kepada nilai kekangan dan fungsi objektif yang digunakan.

Kajian masa menunggu kerana lengah ini masih terhad dan boleh diperluaskan lagi dengan menambah parameter masa menunggu penumpang. Selain itu kriteria kekangan juga boleh dipelbagaikan dengan keupayaan syarikat bas bagi merealisasikan perkhidmatan yang terbaik. Secara umumnya dalam jangka yang panjang masa lengah harus dipertimbangkan sebagai parameter yang penting dan perlu sentiasa ditambahbaik kepada masa yang paling minimum. Ia secara tidak langsung memberi kesan yang besar kepada masa menunggu yang lama dan boleh menyebabkan perkhidmatan bas merosot.

Penghargaan

Penulis amat berbesar hati di atas komitmen yang ditunjukkan oleh Tn Ir. Hj Ab Rahim Md Junoh, En Fahizi Mustafa dan semua staf NadiPutra Sdn Bhd atas kerjasama yang diberikan untuk menyokong kajian pengangkutan bas yang dijalankan di Putrajaya. Projek ini dibiaya oleh Geran Penyelidikan Universiti Kebangsaan Malaysia (GUP-2016-019) dan Kementerian Pendidikan Malaysia (KPT-JPP-HLP2014).

Rujukan

- [1] Watkins, K. E., Ferris, B., Bornina, A., Rutherford, G. S. and Layton, D. 2011. Where Is My Bus? Impact of Mobile Real-Time Information on the Perceived and Actual Wait Time of Transit Riders. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 45(8): 839-848.
- [2] Wardman, M. 2001. *Public Transport Values of Time*. Institute for Transport Studies, University of Leeds.
- [3] Chien, S. I., Dimitrijevic, B. V and Spasovic, L. N. 2003. Optimization of Bus Route Planning in Urban Commuter Networks. *Journal of Public Transportation*. 6: 53-79.
- [4] Chang S. K. and Schonfeld, P. M. 1991. Multiple Period Optimizations of Bus Transit Systems. *Transportation Research Part B: Methodological*. 25(6): 453-478.
- [5] Sano, K., Suga, Y., Wisetjindawat, W. and Rathanachonkun, P. 2007. A Study on the Benefits of Improving Local Bus Service. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 7: 1575-1583.
- [6] Huo, Y., Li, W., Zhao, J. and Zhu, S. 2015. Modelling Bus Delay at Bus Stop. *Journal of Public Transportation*. 4142(January): 1-10.
- [7] Berbebi, S. J., Watkins, K. E. and Laval, J. A. 2015. A Real-time Bus Dispatching Policy to Minimize Passenger Wait on a High Frequency Route. *Transportation Research Part B: Methodological*. 81: 1-13.
- [8] Mohring, H., Schroeter, J. and Wiboonchutikula, P. 1987. The Values of Waiting Time, Travel Time, and a Seat on a Bus. *The RAND Journal of Economics*. 18(1): 40-56.
- [9] Furth, P. G. and Muller, T. H. J. 2006. Service Reliability and Hidden Waiting Time: Insights from Automatic Vehicle Location Data. *Journal of the Transportation Research Board*. 1955: 79-87.
- [10] Kovacs, A. A., Golden, B. L., Hartl, R. F. and Parragh, S. N. 2014. Vehicle Routing Problems in Which Consistency Considerations are Important: A Survey. *Networks*. 64(3): 192-213.
- [11] Ceder, A., Butcher, M. and Wang, L. 2015. Optimization of Bus Stop Placement for Routes on Uneven Topography. *Transportation Research Part B: Methodological*. 74: 40-61.

- [12] Yetiskul, E. and Senbil, M. 2012. Public Bus Transit Travel-time Variability in Ankara (Turkey). *Transport Policy*. 23: 50-59.
- [13] Bin, Y., Zhongzhen, Y. and Baozhen, Y. 2006. Bus Arrival Time Prediction Using Support Vector Machines. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 10(4): 151-158.
- [14] Yu, B., Lu, J., Yu, B. and Yang, Z. 2010. An Adaptive Bus Arrival Time Prediction Model. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. 8: 1126-1136.
- [15] Chen, X., Hellinga, B., Chang, C. and Fu, L. 2014. Optimization of Headways with Stop-skipping Control: A Case Study of Bus Rapid Transit System. *Journal of Advanced Transportation*. 49(3): 385-401.
- [16] Chien, S. I., Dimitrijevic, B. V. and Spasovic, L. N. 2003. Optimization of Bus Route Planning in Urban Commuter Networks. *Journal of Public Transportation*. 6: 53-79.
- [17] Rauf, M., Abdalla, A. N., Fakharuddin, A. and Tadiwa, E. 2013. Response Surface Methodology In-Cooperating Embedded System for Bus's Route Optimization. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*. 5(22): 5170-5181.
- [18] Cancela, H., Mauttone, A. & Urquhart, M. E. 2015. Mathematical Programming Formulations For Transit Network Design. *Transportation Research Part B: Methodological*. 77: 17-37.
- [19] Cats, O. & Gkioulou, Z. 2014. Modeling The Impacts Of Public Transport Reliability And Travel Information On Passengers' Waiting-Time Uncertainty. *EURO Journal on Transportation and Logistics*. 1-24.
- [20] Cats, O. & Loutos, G. 2016. Real-Time Bus Arrival Information System: An Empirical Evaluation. *Journal of Intelligent Transportation Systems*. 20(2): 138-151.
- [21] Chowdhury, S. & Ceder, A. (Avi). 2016. Users' Willingness To Ride An Integrated Public-Transport Service: A Literature Review. *Transport Policy*. 48: 183-195.
- [22] Rojas, O. J., Delgado, F., Giesen, R. & Munoz, J. C. 2015. Planning, Operation, And Control Of Bus Transport Systems: A Literature Review. *Transportation Research Part B: Methodological*. 77: 38-75.
- [23] Kumar, B. A., Mothukuri, S., Vanajakshi, L. & Subramanian, S. C. 2014. An Analytical Approach to Identify the Optimum Inputs for a Bus. Transportation Research Board, National Research Council. Washington, D. C.
- [24] Lizana, P., Muñoz, J. C., Giesen, R. & Delgado, F. 2014. Bus Control Strategy Application: Case Study Of Santiago Transit System. *Procedia Computer Science*. 32: 397-404.
- [25] Peña, C. & Moreno, E. 2014. Delay at Bus Stops of Transmilenio Transport System According to Parameters Measured" in situ". Case Study Bogotá-Colombia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*. 160(City): 121-129.
- [26] Stewart, C. & El-Geneidy, A. 2016. Don't Stop Just Yet! A Simple, Effective, And Socially Responsible Approach To Bus-Stop Consolidation. *Public Transport*. 8(1): 1-23.
- [27] Tirachini, A. 2014. The Economics And Engineering Of Bus Stops: Spacing, Design And Congestion. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 59: 37-57.
- [28] Yu, B., Lam, W. H. K. and Tam, M. L. 2011. Bus Arrival Time Prediction at Bus Stop with Multiple Routes. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*. 19(6): 1157-1170.
- [29] Ciaffi, F., Cipriani, E., Petrelli, M., Ušpalytė-Vitkūnienė, R. 2014. A New Methodology For The Public Transport Network Design. *The 9th Conference Environmental Engineering, Selected Papers*. Article Number: enviro.2014.114.