

Pemodelan Penjadwalan Ulang Kereta Api ketika Keterlambatan Kereta

Kurnia Iswardani¹⁾

¹⁾Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Panca Marga
Jl. Yos Sudarso 107 Pabean Dringu Probolinggo 67271
Telp : (0335) 422715, 427923, Fax : (0335) 427923
E-mail : kurnia.iswardani@gmail.com

ABSTRAK

Keterlambatan kereta api disebabkan oleh beberapa gangguan yang terjadi di kereta api atau di stasiun. Operator kereta di stasiun akan menjadwalkan ulang jadwal kereta. Saat ini KA hanya melakukan reschedule “on the spot” saat terjadi delay, sehingga penentuan rescheduling memakan waktu lama dan rescheduling baru tidak pasti. Hal ini dapat diantisipasi dengan menggunakan Decision Support System (DSS) untuk rescheduling. Sebuah DSS mensimulasikan berdasarkan aturan perkeretaapian, mendeteksi dan menyelesaikan konflik (menyalip dan menyeberang), dan penjadwalan ulang secara real time. Keluaran dari DSS adalah penjadwalan ulang jadwal, diagram grafik kereta api, dan daftar kereta tunda knock-on setiap kelas kereta dan total tundaannya.

Kata Kunci : DSS, Knock-on delay, kereta api

ABSTRACT

Delay on the train is caused by some disturbance that occurs on the train or at the station. The train operator at the station will reschedule the train timetable. Currently, the train only reschedules “on the spot” when delay happen, consequently the rescheduling determination takes a long time and new rescheduling is uncertain. This can be anticipated by using a Decision Support System (DSS) for rescheduling. A DSS simulates based on rules the railroad, detecting and solving conflict (overtaking and crossing), and rescheduling in real time. Output from a DSS is timetable rescheduling, train graph diagram, and list of knock-on delay trains each class trains and its total delay.

Key Words : DSS, Knock-on delay, Train

PENDAHULUAN

Gangguan dapat menyebabkan keterlambatan. Shafia et al., (2012), jika terjadi keterlambatan, kereta api harus menunggu di stasiun sebelumnya (utama) dan dapat menyebabkan jadwal

lain yang akan dikirimkan (knock-on delay). Dalam penanganan delay, KA harus cepat dan tepat mengatasi gangguan tersebut dan melakukan penjadwalan ulang KA. Menurut Tornquist dan Persson (2007), penjadwalan ulang di kereta api adalah

kompleks dan ada dua tantangan yang harus diperhitungkan. Pertama adalah bagaimana merumuskan lalu lintas yang nyata dapat menghasilkan hasil yang dapat diterima (feasible) dan praktis. Kedua adalah bagaimana menghasilkan solusi yang baik dalam batas waktu yang singkat. Beberapa hasil yang mungkin terjadi pada reschedule kereta api adalah penyesuaian waktu dan waktu menggunakan delay primer dan delay sekunder (retiming), penataan ulang dan penyesuaian jalur yang dipilih (rerouting). Diperlukan DSS untuk melakukan penjadwalan ulang dalam waktu yang singkat dan tepat, mengelola knock-on delay KA pada KA antar kelas, dan solusinya adalah bebas konflik (menyalip dan menyeberang).

Banyak penelitian penjadwalan ulang menggunakan metode algoritma eksak dan heuristik. Seperti dalam Higgins et al. (1996) belajar menggunakan branch and bound untuk mendapatkan penjadwalan yang optimal pada satu jalur. Hal ini dapat menemukan jumlah optimal yang dapat meningkatkan jumlah permintaan penumpang kereta api. Kemudian penelitian Shafia et al. (2012) mengembangkan model matematis bercabang dan terikat untuk menyelesaikan masalah kompilasi pengatur waktu kereta api yang terjadi tundaan pada jalur kereta api tunggal. Studi Palgunadi dan Supraba (2016) menggunakan penjadwalan job-shop dengan aturan pengiriman FCFS (First Come First Serve) dan memperhatikan fungsi untuk menunda waktu pada beberapa jalur. Dalam Dotoli dkk. (2014) studi, sistem pendukung keputusan (DSS) untuk manajemen waktu nyata dapat mempengaruhi dan

menyelesaikan masalah jika terjadi penundaan. Alwaddood et al., (2014) melakukan studi re-train menggunakan Mixed Integer Linear Programming (MILP) untuk meminimalkan total waktu tunda.

Berdasarkan penelitian-penelitian sebelumnya, pada penelitian ini dibuat sebuah DSS untuk penjadwalan ulang kereta api dalam waktu singkat dan bebas konflik. Metode yang digunakan adalah Mix Integer Linear Programming (MILP) dengan aturan pengiriman FCFS dan prioritas kelas kereta. DSS ini berlaku untuk jalur kereta api Surabaya - Banyuwangi dengan jalur tunggal dan satu jalur ganda. Tujuan penulisan makalah ini adalah untuk memodelkan suatu sistem pendukung keputusan penjadwalan ulang yang dapat menghitung total knock-on delay dan total delay sehingga dispatcher dapat mengetahui dampak dari delay tersebut dan segera mengumumkan reschedule kepada penumpang.

METODE

Ada aturan dasar kereta api Indonesia untuk jalur tunggal Aturan ini digunakan saat mengatur keberangkatan dan kedatangan kereta api. Ini adalah aturan dasar kereta api:

1. Periksa jalur belakang.

Jika ada kereta api yang memiliki prioritas lebih tinggi, maka kereta dengan prioritas lebih rendah harus menunggu dan mendahului kereta dengan prioritas lebih tinggi (proses menyalip).

2. Periksa jalur depan

sebuah. Ada kereta dengan arah yang berbeda: kereta harus menunggu sampai kereta mencapai stasiun dan ada persimpangan.

Menyalip dan Menyeberang

Salah satu hal terpenting dalam penjadwalan ulang pada satu jalur lintasan adalah penyelesaian ketika terjadi konflik antara dua kereta yang searah atau berlawanan arah. Berikut adalah penjelasan tentang cara menyelesaikan konflik.

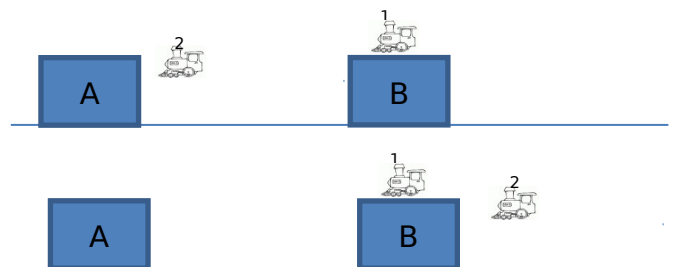
1. Menyalip

Menyalip terjadi ketika dua kereta berada dalam satu jalur dengan prioritas kereta yang berbeda. Contoh: kereta 1 dan kereta 2 (prioritas lebih tinggi). Kereta 1 berangkat pertama jam 4 pagi dari stasiun A ke stasiun B. Kemudian ketika kereta 1 tetap di stasiun B, kereta 2 kecepatan melalui jalur A-B. Karena kereta 2 memiliki prioritas lebih tinggi, maka kereta 1 harus menunggu di stasiun B sampai kereta 2 menyusul kereta 1. Ketika kereta 1 dan kereta 2 lebih besar dari headway, maka kereta 1 baru bisa berangkat. Gambar 1 adalah Ilustrasi menyalip dan gambar 2 adalah diagram grafik Kereta Api menyalip, sumbu x adalah waktu, dan sumbu y adalah nama stasiun.

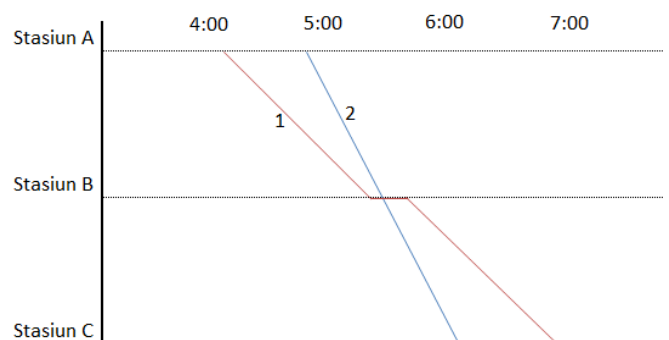
2. Persimpangan

Persimpangan akan terjadi ketika kereta 1 dan kereta 2 arah berlawanan akan menggunakan jalur yang sama.

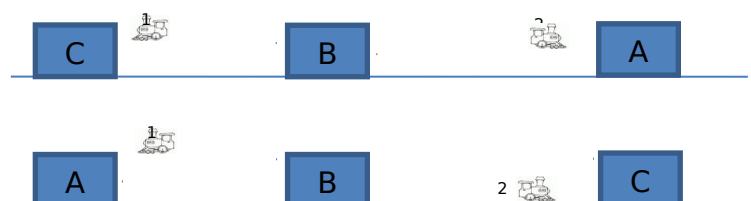
Sebagai contoh: ketika kereta 1 akan melintasi jalur C-B-A dan kereta 2 akan melintasi jalur A-B-C pada satu waktu maka salah satu kereta harus menunggu di stasiun tertentu sampai kereta lain telah melewati jalur tersebut sehingga tersedia jalur untuk dilewati. Gambar 3 adalah ilustrasi penyeberangan dan Gambar 4 adalah diagram graf Kereta Api penyeberangan.



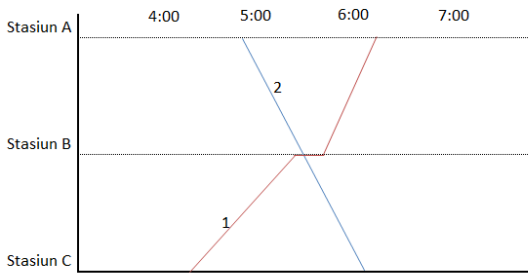
Gambar 1. Ilustrasi menyalip



Gambar 2. Train graph schedule diagram menyalip

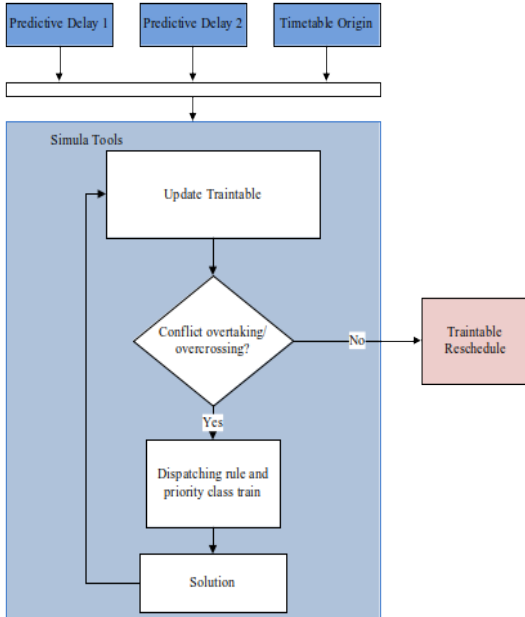


Gambar 3. Ilustrasi Persimpangan

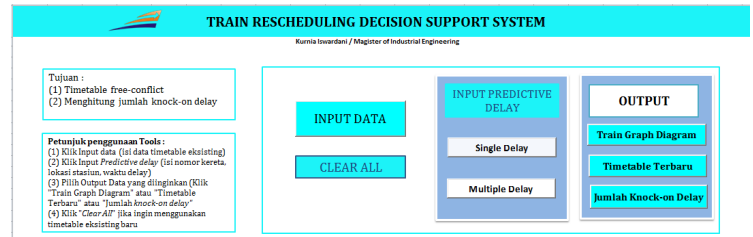


Gambar 4. Train graph schedule diagram Persimpangan

Salah satu hal terpenting dalam penjadwalan ulang pada satu jalur lintasan adalah penyelesaian ketika terjadi konflik antara dua kereta yang searah atau berlawanan arah. Gambar 5 adalah konsep penjadwalan ulang, Gambar 6 adalah interface software penjadwalan ulang. Gambar 7 adalah Contoh output software



Gambar. 5 Konsep Penjadwalan ulang

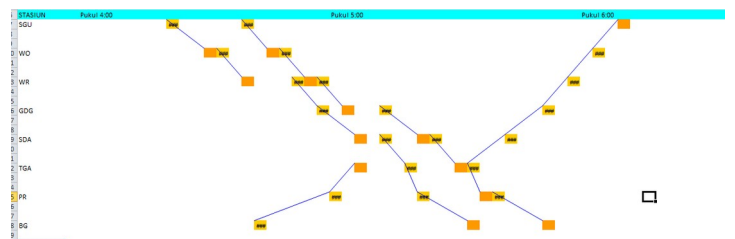


Gambar. 1 Interface Software Penjadwalan Ulang

Re-Schedule										Aktual										Delay
Or	Dest	Kelas Kereta	Train Id	Departure Time	Arrival Time	Or	Dest	Kelas Kereta	Train Id	Departure Time	Arrival Time	Or	Dest	Kelas Kereta	Train Id	Departure Time	Arrival Time	Delay		
SGU	WD	3	145	0	45	0	51	SGU	WD	3	145	0	45	0	51	0	0	0		
SGU	WD	2	285	3	56	4	2	SGU	WD	2	285	3	56	4	2	0	0	0		
SGU	WD	2	275	4	10	4	17	SGU	WD	2	275	4	10	4	17	0	0	0		
SGU	WD	3	213	4	25	4	32	SGU	WD	3	213	4	25	4	32	0	0	0		
SGU	WD	2	429	4	41	4	47	SGU	WD	2	429	4	41	4	47	0	0	0		
SGU	WD	2	478	5	6	5	12	SGU	WD	2	478	5	6	5	12	0	0	0		
SGU	WD	6	45	6	20	6	26	SGU	WD	6	45	6	20	6	26	0	0	0		
SGU	WD	4	113	7	20	7	27	SGU	WD	4	113	7	20	7	27	0	0	0		
SGU	WD	5	83	7	30	7	36	SGU	WD	5	83	7	30	7	36	0	0	0		
SGU	WD	2	431	7	41	7	47	SGU	WD	2	431	7	41	7	47	0	0	0		
SGU	WD	2	441	7	51	7	58	SGU	WD	2	441	7	51	7	58	0	0	0		
SGU	WD	3	179	8	10	8	17	SGU	WD	3	179	8	10	8	17	0	0	0		
SGU	WD	2	421	8	26	8	32	SGU	WD	2	421	8	26	8	32	0	0	0		
SGU	WD	5	97	9	0	9	6	SGU	WD	5	97	9	0	9	6	0	0	0		
SGU	WD	5	101	9	15	9	21	SGU	WD	5	101	9	15	9	21	0	0	0		
SGU	WD	2	447	10	11	10	17	SGU	WD	2	447	10	11	10	17	0	0	0		
SGU	WD	2	403	12	12	12	27	SGU	WD	2	403	12	12	12	27	0	0	0		
SGU	WD	1	2619	11	3	11	10	SGU	WD	1	2619	11	3	11	10	0	0	0		
SGU	WD	2	433	11	36	11	42	SGU	WD	2	433	11	36	11	42	0	0	0		
SGU	WD	3	173	12	0	12	7	SGU	WD	3	173	12	0	12	7	0	0	0		
SGU	WD	2	277	12	40	12	48	SGU	WD	2	277	12	40	12	48	0	0	0		
SGU	WD	3	193	13	30	13	37	SGU	WD	3	193	13	30	13	37	0	0	0		
SGU	WD	2	233	13	45	13	51	SGU	WD	2	233	13	45	13	51	0	0	0		
SGU	WD	3	195	14	0	14	7	SGU	WD	3	195	14	0	14	7	0	0	0		
SGU	WD	1	2623	14	13	14	21	SGU	WD	1	2623	14	13	14	21	0	0	0		
SGU	WD	3	169	15	30	15	37	SGU	WD	3	169	15	30	15	37	0	0	0		
SGU	WD	6	55	16	0	16	6	SGU	WD	6	55	16	0	16	6	0	0	0		
SGU	WD	5	103	16	15	16	22	SGU	WD	5	103	16	15	16	22	0	0	0		
SGU	WD	6	43	16	30	16	36	SGU	WD	6	43	16	30	16	36	0	0	0		

kelas kereta	jumlah kereta	knock-on delay
	3	1
	2	1
	1	1

Primary Delay Train Id	213
Delay Awal	10
Delay	10



Gambar. 7 Contoh Output Software

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan skenario akan dilakukan dengan mengubah input berupa perubahan id kereta api, kelas

kereta yang delay, lokasi stasiun yang terjadi delay, dan durasi delay. Jika pengujian selesai maka menghasilkan keluaran model pada percobaan. Tabel 1 adalah percobaan penjadwalan ulang rencana penjadwalan KA pada jalur KA Surabaya-Banyuwangi.

Exp	Delay	Primary Delay Train Class	Total Timetable
I	Single Delay	1	91 timetable
		2	91 timetable
		3	91 timetable
		4	91 timetable
		5	91 timetable
		6	91 timetable
II	Single Delay	3 from SGU	90 timetable
		3 from SGU	90 timetable
III	Multiple Delay	3 & 5	90 timetable
IV	Single Delay	5	single track
			double track

Tabel 1. Eksperimen penjadwalan ulang

Percobaan menggunakan data jadwal dummy untuk setiap kelas. Travel time dan dwell time pada data dummy mengacu pada waktu tempuh dan dwell time jadwal real time di kelas yang sama. Jadi nilai data dummy antar kelas kereta api berbeda-beda, tetapi jam awal keberangkatan di stasiun dibuat sama dan nilai lag dibuat sama. Tujuan dari percobaan ini adalah untuk mengetahui jumlah knock-on delay saat terjadi delay pada kelas kereta api yang berbeda. Table 2 Total Knock on Delay dari eksperimen

Primary Delay	Knock-on Delay		
	Class Train	Train Id	Delay (minute)
6	5	88	24
		104	10
	4	1	21
	3	195	16
		196	34
		190	29
	2	431	1

		441	11
		433	35
		452	21
		454	26
		432	39
		434	32
	1	2623	79
		2716	18
5	4	113	13
	3	206	19
		196	2
		190	29
	2	432	39
		420	13
4	4	113	13
	3	206	19
		196	4
		190	29
	2	433	5
		452	21
432		39	
3	3	206	48
	2	452	21
2	2	431	45
		452	36
		432	21

Tabel 2. Total Knock on Delay dari eksperimen

Berdasarkan hasil percobaan, ada beberapa hal yang dapat dianalisis. Pertama, perubahan tundaan total di stasiun akhir dipengaruhi oleh kelas tundaan primer kereta api. Contoh Pada kelas 6, angka tunda di stasiun akhir mendekati angka tunda pada awal tunda. Hal ini disebabkan tidak adanya menyalip dan penyeberangan dengan kereta kelas 6 lainnya dan kereta kelas bawah akan menunggu ketika mereka bertemu. Kedua ketika kereta dengan kelas tertentu tertunda, kelas kereta yang lebih tinggi tidak akan terpengaruh oleh jadwal kereta mereka. Hal ini dibuktikan pada Tabel 2, banyaknya knock-on delay yang terjadi tergantung pada beberapa hal yaitu kebisingan lalu lintas, jumlah kereta api pada kelas tertentu, dan jadwal. Semakin banyak lalu lintas, semakin banyak kereta yang mengalami knock-on delay, semakin banyak jumlah kelas keretanya, semakin banyak pula yang mengalami knock-on delay. Jadwal ditinjau dari waktu, jadwal ini juga akan mempengaruhi jumlah kereta api yang mengalami knock-on delay. Ketiga, total varians waktu tunda pada kereta yang mengalami knock-on delay. Variasi waktu tunda disebabkan oleh aturan kelas kereta dan aturan pengiriman. Variasi waktu tundaan kereta api berbeda-beda pada setiap kelas kereta api yang mengalami tundaan primer. Hal ini menunjukkan bahwa total waktu tunda pada kereta api yang mengalami tundaan knock-on tidak bergantung pada kelas kereta yang mengalami tundaan primer.

SIMPULAN

Model konseptual telah dikembangkan untuk membuat penjadwalan ulang jadwal menggunakan penundaan prediktif. Berdasarkan model konseptual, telah dibuat DSS sebagai alat pengambilan keputusan untuk mengetahui penjadwalan kembali jadwal, diagram grafik kereta api dan jumlah knock-on delay kereta api. Dari hasil percobaan, DSS yang telah dibuat dapat menghasilkan penjadwalan ulang yang tepat waktu, dapat mengetahui jumlah knock-on delay setiap kereta dan total waktu tunda, serta dapat digunakan untuk beberapa kondisi seperti single delay, multiple delay dan trek ganda. Jumlah tundaan knock-on dan waktu tunda di stasiun akhir pada tundaan primer dipengaruhi oleh tingginya lalu lintas yang dilalui, jumlah kereta yang mengalami tundaan primer, dan jenis rel yang dilalui. Waktu tunda kereta api pada kereta api yang mengalami tundaan knock-on tidak bergantung pada kelas kereta api yang mengalami tundaan primer

DAFTAR PUSTAKA

1. Alwadood, Z., Shuib, A., & Hamid, N. A. (2015). A Modified Mixed Integer Programming Model for Train Rescheduling. *Journal of Industrial and Intelligent Information Vol*, 3(2).
2. Bešinovi, N., & Goverde, R. (2016). Toward operationally feasible railway timetables. 2016 INFORMS Annual Meeting, Nashville, United States.
3. Cavone, G., Dotoli, M., Epicoco, N., & Seatzu, C. (2017). A decision making procedure for robust train rescheduling based on mixed integer linear programming and Data Envelopment Analysis. *Applied Mathematical Modelling*, 52, 255-273.
4. Dotoli, M., Epicoco, N., Falagario, M., Turchiano, B., Cavone, G., & Convertini, A. (2014, June). A decision support system for real-time rescheduling of railways. In *Control Conference (ECC), 2014 European* (pp. 696-701). IEEE.
5. D'Ariano, A. (2008). Improving real-time train dispatching: models, algorithms and applications (No. T2008/6). Delft, The Netherlands: TRAIL Research School.
6. J D'Ariano, A., Pacciarelli, D., Sama, M., & Corman, F. (2017, June). Microscopic delay management: Minimizing train delays and passenger travel times during real-time railway traffic control. In *Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS), 2017 5th IEEE International Conference on* (pp. 309-314). IEEE.
7. Espinosa-Aranda, J. L., & García-Ródenas, R. (2013). A demand-based weighted train delay approach for rescheduling railway networks in real time. *Journal of Rail Transport Planning & Management*, 3(1-2), 1-13.
8. Fang, W., Yang, S., & Yao, X. (2015). A survey on problem models and solution approaches to rescheduling in railway networks. *IEEE Transactions on*

- Intelligent Transportation Systems, 16(6), 2997-3016.
9. Fischetti, M., & Monaci, M. (2017). Using a general-purpose mixed-integer linear programming solver for the practical solution of real-time train rescheduling. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 258-264.
 10. Fischetti, M., & Monaci, M. (2017). Using a general-purpose mixed-integer linear programming solver for the practical solution of real-time train rescheduling. *European Journal of Operational Research*, 263(1), 258-264.
 11. Ghaemi, N., Goverde, R. M., & Cats, O. (2016, August). Railway disruption timetable: Short-turnings in case of complete blockage. In *Intelligent Rail Transportation (ICIRT), 2016 IEEE International Conference on* (pp. 210-218). IEEE.
 12. Higgins, A., Kozan, E., & Ferreira, L. (1996). Optimal scheduling of trains on a single line track. *Transportation research part B: Methodological*, 30(2), 147-161.
 13. Pachel, J. (2002). *Railway Operation and Control*. VTD Rail Publishing: Mountlake Terrace, USA, ISBN 0-9719915-1-0.
 14. Palgunadi, S., Supraba, D., & Harjito, B. (2016, October). Job-Shop Scheduling model for optimization of the double track railway scheduling: (Case study: Solo-Yogyakarta railway network). In *Information & Communication Technology and Systems (ICTS), 2016 International Conference on* (pp. 90-95). IEEE.
 15. Shafia, M. A., Aghaei, M. P., Sadjadi, S. J., & Jamili, A. (2012). Robust train timetabling problem: Mathematical model and branch and bound algorithm. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 13(1), 307-317.
 16. Törnquist, J., & Persson, J. A. (2007). N-tracked railway traffic reschedule during disturbances. *Transportation Research Part B: Methodological*, 41(3), 342-362.
 17. Umiliacchi, S., Nicholson, G., Zhao, N., Schmid, F., & Roberts, C. (2016). Delay management and energy consumption minimisation on a single-track railway. *IET Intelligent Transport Systems*, 10(1), 50-57.
 18. Zaninotto, G., D'Ariano, A., Pacciarelli, D., & Pranzo, M. (2013, October). Intelligent decision support for scheduling and rerouting trains on an Italian railway line. In *Intelligent Transportation Systems-(ITSC), 2013 16th International IEEE Conference on* (pp. 779-784). IEEE.