

Perencanaan Komposisi Pengadaan Rangkaian Kereta Cepat: Studi Kasus di Indonesia

Muhammad Ilham Adelino

Universitas Putra Indonesia YPTK Padang
Jl. Raya Lubuk Begalung, Lubuk Begalung Nan XX, Kota Padang, Sumatera Barat, 25145, Indonesia
E-mail: milhamadelino@upi.ptk.ac.id

Diterima: 31 Januari 2022, disetujui: 25 Mei 2023, diterbitkan *online*: 30 Juni 2023

Abstrak

Mega proyek kereta cepat (HSR) Indonesia pada rute Jakarta-Bandung direncanakan mulai beroperasi di Indonesia. Tipe HSR yang digunakan adalah generasi terbaru dari CRRC Qindao Sifang. Sebelum beroperasi, pengadaan jumlah unit HSR awal menjadi faktor yang krusial sehingga perlu dilakukan perencanaan dan proyeksi yang tepat. Tujuan penelitian ini adalah merencanakan komposisi pengadaan rangkaian kereta cepat (HSR) rute Jakarta-Bandung pada awal operasional. Metode yang digunakan adalah *Integer Linear Programming* (ILP) untuk menentukan komposisi pengadaan rangkaian HSR yang optimal untuk setiap skenario. Dua skenario juga dipertimbangkan sebagai preventif dari ketidakpastian kondisi atau situasi ke depannya. Hasil analisa menunjukkan bahwa jumlah optimal untuk tipe HSR tersebut adalah 7 unit, yang terdiri dari 5 unit dengan skema beli dan 2 unit dengan skema sewa. Pada skenario 1, jumlah unit HSR pada rentang 2-11 unit rangkaian terdiri dari 2-8 unit dengan skema beli dan 0-3 unit dengan skema sewa. Adapun pada skenario 2, jumlah unit HSR sebanyak 6 rangkaian terdiri dari 4 unit dengan skema beli dan 2 unit dengan skema sewa.

Kata kunci: *integer linear programming*, kereta cepat, pengadaan

Abstract

Determining the High-Speed Rail Procurement Composition: A Case Study in Indonesia: Indonesia's high-speed rail (HSR) project for the Jakarta-Bandung nodes is planned to begin operating in Indonesia. The type of HSR that will be used is the new generation of CRRC Qindao Sifang. The initial procurement of the number of HSR units is a crucial factor and requires proper planning and projections at the beginning of operations. This study aimed to determine the composition of the initial high-speed rail (HSR) procurement for the Jakarta-Bandung nodes. Integer Linear Programming (ILP) was proposed to determine the optimal fleet composition for each scenario. There are two scenarios considered as preventive for uncertain future conditions. The results indicate that the optimal quantity for the specified HSR type is 7 units, consisting of 5 units with a purchase scheme and 2 units with a lease scheme. In scenario 1, the quantity of HSR units within the range of 2-11 train sets consists of 2-8 units under a purchase scheme and 0-3 units under a lease scheme. Meanwhile, in scenario 2, the quantity of HSR units amounts to 6 train sets, comprising 4 units under a purchase scheme and 2 units under a lease scheme.

Keywords: *high-speed rail, integer linear programming, procurement*

1. Pendahuluan

Indonesia telah memasuki babak baru dalam pengembangan kereta cepat (HSR) sebagai transportasi umum bagi masyarakat. Konsorsium Indonesia dan Cina melalui PT. Kereta Cepat Indonesia China yang menghasilkan proyek HSR direncanakan akan melayani rute Jakarta-Bandung pada akhir tahun 2022 [1]. Proyek ini merupakan mega proyek HSR pertama di Indonesia. Seluruh prosedur dan standar menggunakan standarisasi HSR China, termasuk rangkaian. Tipe HSR yang digunakan adalah generasi terbaru dari CRRC Corporation [2].

Penentuan jumlah unit rangkaian HSR untuk kegiatan operasional awal sangat penting untuk dilakukan. Optimalisasi jumlah unit dapat meminimalkan biaya pembelian dan memaksimalkan penggunaan sumber daya yang tersedia [3]. Penentuan jumlah kendaraan dapat meminimalkan pengadaan kendaraan dalam mendukung dan menerapkan program yang telah direncanakan [4]. Pengadaan kendaraan bisa saja berupa kontrak sewa dengan pihak ketiga sehingga perlu mempertimbangkan dan merencanakan jumlah kendaraan yang tepat saat kontrak disepakati [5]. Selain jumlah unit kereta, preferensi penumpang sebagai pengguna HSR juga perlu dipertimbangkan. Hal ini dapat memengaruhi potensi jumlah penumpang di Indonesia [6] dan meningkatkan potensi loyalitas pengguna jasa perkeretaapian [7].

Persepsi pengguna jasa kereta api atas layanan dan kemudahan akses antar moda berpengaruh pada jumlah penumpang harian. Seperti halnya yang terjadi pada kereta api bandara Manggarai-Soekarno Hatta [8]. Selain layanan dan kemudahan akses, harga tiket juga dapat menentukan jumlah penumpang KA

Bandara. Harga tiket yang diinginkan oleh pengguna lebih rendah sekitar 82% dari kemampuan membayar (*ability to pay*) per pengguna [9].

Dalam kegiatan operasionalnya, penjadwalan HSR diajukan sebagai referensi perjalanan. Pendekatan *branch-and-price* digunakan untuk merencanakan urutan perjalanan pada HSR di Cina Timur dan hasilnya adalah model yang diajukan dapat diterapkan untuk mencapai efektivitas [10]. Hasil ini sejalan dengan Qi, et al (2021) [11], Wang, et al (2021) [12], dan Zhang, et al (2021) [13] dalam perencanaan dan penjadwalan kereta api di Cina berdasarkan permintaan berbasis waktu dapat dilakukan menggunakan model *Integer Linear Programming* (ILP) dan *space-time decomposition*.

Jumlah rangkaian HSR pada operasional tambahan perlu dilakukan perencanaan taktis dengan berbagai tujuan. Penjadwalan dan perencanaan rangkaian HSR dapat dilakukan relaksasi dengan menggunakan metode *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) dan *Multi-Objective Adding Train Paths* (ATP) [14]. Alokasi kapasitas kereta api dapat pula memengaruhi perencanaan rangkaian. Model *two-stage stochastic* dan *heuristic algorithm* digunakan untuk permasalahan alokasi kapasitas tersebut. Hasilnya adalah efisiensi dan penyesuaian formasi kereta api dapat mendekati optimal dengan menggunakan pendekatan tersebut [15][16][17]. Pengaruh antara desain struktur dan perencanaan operasional menentukan klasifikasi muatan, jumlah rangkaian kereta api, dan efektivitas operasional pada level strategis [18].

Penelitian terkait komposisi kendaraan pernah dilakukan di Portugal oleh Repolho, et al (2016) [19] menggunakan metode MILP dengan tujuan untuk meningkatkan *Net Public Benefit* (NPB). Hasilnya adalah NPB dapat ditingkatkan 7,7% dengan mengoptimalkan lokasi yang dikombinasikan dengan komposisi penugasan HSR. Penelitian tersebut sejalan dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Nash (2015) [20] yang menyatakan bahwa diperlukan perbandingan menggunakan *cost-benefit analysis*. Beberapa skenario ditentukan untuk menentukan komposisi pesawat yang ideal sehingga skenario tersebut dapat memberikan perencanaan pesawat dalam multi-periode secara fleksibel [21].

Penelitian-penelitian terdahulu tersebut berfokus pada pembahasan tentang perbaikan dan optimalisasi HSR setelah beroperasi, seperti optimalisasi rute [10], penjadwalan [11][14], pengalokasian unit [15][16][17]. Namun masih sangat sedikit penelitian yang membahas komposisi kereta cepat, khususnya pada sebelum kegiatan operasional berjalan. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perencanaan rangkaian HSR, khususnya pada kegiatan operasional awal sebagai bagian dari perencanaan proyek.

Penelitian ini berfokus pada perencanaan dan komposisi pengadaan gerbong HSR sebelum kegiatan operasional berjalan. Untuk mengoptimalkan jumlah komposisinya, penelitian ini mengajukan *Integer Linear Programming* sebagai metode atau pendekatannya. Metode tersebut dapat memberikan hasil optimum pada jumlah dengan mempertimbangkan seluruh kendala-kendala yang ada [16]. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah merencanakan komposisi pengadaan rangkaian kereta cepat (HSR) pada awal operasional untuk rute Jakarta-Bandung menggunakan metode *Integer Linear Programming*. Dua skenario juga diajukan sebagai preventif atas ketidakpastian jumlah penumpang dan frekuensi perjalanan HSR.

2. Metodologi

2.1. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data menggunakan data sekunder. Variabel yang digunakan terdiri dari proyeksi biaya-biaya untuk pengadaan rangkaian HSR, kapasitas kursi, spesifikasi HSR, dan proyeksi jumlah penumpang. Sumber data didapatkan dari berita atau *press release* pada situs milik PT. KCIC [1], China Railway Corporation (CRC) [22], CRRC Corporation [23], Negara & Suryadinata [24], dan Union Internationale des Chemins de fer (UIC) [25]. Proyeksi jumlah penumpang didapatkan dari situs PT. KCIC, dan Negara & Suryadinata. Biaya pengadaan, kapasitas kursi, dan spesifikasi HSR didapatkan dari situs PT. KCIC, CRC, CRRC Corporation, dan UIC.

2.2. Pengolahan Data

Pengolahan data menggunakan pendekatan kuantitatif. Metode yang digunakan adalah *Integer Linear Programming* (ILP). ILP merupakan pemrograman integer dimana beberapa variabel keputusan seluruh atau sebagiannya berupa nilai integer [26]. Perangkat lunak dalam pengolahan data menggunakan LINGO 17.0.

2.3. Analisis Data

Sebelum dilakukan perhitungan, model matematika yang telah dibuat terlebih dahulu dilakukan validasi dan verifikasi model. Apabila hasil validasi dan verifikasi model memiliki hasil yang sama, maka model matematika sudah dapat digunakan dan proses lebih lanjut sudah dapat dilakukan. Hasil validasi dan verifikasi menggunakan LINGO 17.0 memiliki hasil yang sama sehingga model matematika sudah dapat digunakan. Model matematika juga digunakan untuk skenario 1 dan 2.

2.4. Model Matematika

Model matematika bertujuan untuk mendapatkan komposisi dan jumlah rangkaian kereta cepat (HSR). Berikut adalah model matematika yang digunakan:

Variabel keputusan:

b_n = jumlah unit rangkaian dengan skema beli untuk tipe HSR n (unit)

l_n = jumlah unit rangkaian dengan skema beli untuk tipe HSR n (unit)

Variabel:

bi_n = biaya rangkaian dengan skema beli tipe HRS n (Rp/tahun);

bl_n = biaya rangkaian dengan skema sewa tipe HSR n (Rp/tahun);

ob_n = biaya operasional rangkaian dengan skema beli tipe HSR n (Rp/tahun);

ol_n = biaya operasional rangkaian dengan skema sewa tipe HSR n (Rp/tahun);

i_{\max} = total proyeksi biaya investasi rangkaian maksimal (Rp/tahun);

pu_{\max} = persentase maksimum atas jumlah unit yang disewa (persen);

c_n = total kapasitas kursi pada tipe HSR n (pax);

f_s = jumlah frekuensi perjalanan dalam skenario s (kali perjalanan pp);

q_s = jumlah penumpang pada periode p dan skenario s (pax/bulan);

al_n = jumlah unit tipe HSR n yang diijinkan untuk disewa (unit)

Fungsi tujuan:

$$\min z = \sum b_n + l_n \quad (1)$$

$$\sum (bi_n + ob_n)b_n + \sum (bl_n + ol_n)l_n \leq i_{\max} \tag{2}$$

$$\sum c_n (b_n + l_n) f_s \geq q_s \tag{3}$$

$$al_n \leq (b_n + l_n) pu_{\max} \tag{4}$$

$$b_n, l_n \geq 0 \tag{5}$$

$$b_n, l_n \text{ integer} \tag{6}$$

Persamaan (2) adalah total biaya tidak melebihi batasan anggaran maksimal untuk rangkaian HSR. Persamaan (3) adalah kapasitas rangkaian HSR harus lebih besar atau sama dengan dibandingkan proyeksi permintaan atau pengguna jasa HSR. Persamaan (4) adalah batasan rangkaian HSR yang dapat masuk dalam skema sewa. Persamaan (5) dan (6) adalah variabel non-negatif dan seluruh variabel keputusan berupa nilai integer (bulat).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Validasi dan Verifikasi Model

Validasi model adalah suatu proses penentuan akurasi data dari sistem nyata. Proses ini diperlukan untuk merepresentasi validitas sistem nyata yang sedang dimodelkan. Sistem nyata yang telah divalidasi ke dalam model matematika dapat dilanjutkan ke tahap verifikasi model. Validasi model menggunakan pendekatan branch-and-bound. Verifikasi model adalah suatu proses pembuktian bahwa seluruh model dapat diterima dengan benar dan berjalan dengan semestinya secara menyeluruh. Proses verifikasi pada penelitian ini menggunakan LINGO 17.0. Sampel yang digunakan untuk kedua proses ini adalah Haramain High Speed Railway [25], [27]. Hasil validasi dan verifikasi model dapat dilihat pada Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, nilai validasi dan verifikasi memiliki hasil yang sama sehingga model matematika sudah dapat digunakan untuk proses atau tahapan berikutnya. Hasil validasi dan verifikasi model menunjukkan hasil seluruh unit dengan skema sewa dan total biaya mencapai 2.178 milyar rupiah.

3.2. Studi Kasus

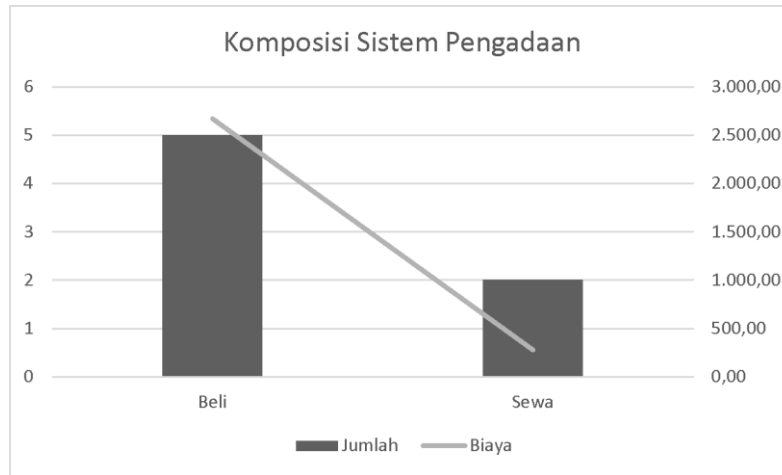
Target penumpang diproyeksikan sebesar 10 juta penumpang per tahun. Asumsi harga rangkaian per unit adalah sebesar 533,95 milyar rupiah dengan total biaya operasional dan perawatan rata-rata tahunan sebesar 107 milyar rupiah [1], [22][24][25]. Hasil pengolahan data terkait komposisi sistem pengadaan rangkaian HSR berdasarkan data tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Berdasarkan Gambar 1, jumlah unit optimal untuk pengadaan HSR pada rute Jakarta-Bandung sebanyak 7 unit rangkaian (56 gerbong) yang terdiri dari 5 rangkaian dengan skema beli dan 2 unit rangkaian dengan skema sewa. Total biaya atas pengadaan tersebut diproyeksikan sebesar 2,944 milyar rupiah. Harga tersebut dapat berubah seiring perubahan nilai tukar mata uang (kurs). Kondisi atau situasi setelah kegiatan operasional berjalan juga dapat berubah, terlebih saat ada ketidakpastian kondisi seperti

Tabel 1. Hasil validasi dan verifikasi model

Komposisi	Validasi	Verifikasi
b_n	0	0
l_n	12	12
Biaya (Milyar Rp.)	2.178,37	2.178,37

Sumber: hasil analisis, 2021



Sumber: hasil analisis, 2021

Gambar 1. Komposisi sistem pengadaan

Tabel 2. Skenario 1

No	Sub-skenario	Persentase	Jumlah Penumpang (Orang/tahun)
1	Rendah-Naik	+ 10%	11.000.000
2	Rendah-Turun	- 10%	9.000.000
3	Sedang-Naik	+ 30%	13.000.000
4	Sedang-Turun	- 30%	7.000.000
5	Tinggi-Naik	+ 50%	15.000.000
6	Tinggi-Turun	- 50%	5.000.000
7	Ekstrim-Naik	+ 80%	18.000.000
8	Ekstrim-Turun	- 80%	2.000.000

Sumber: hasil analisis, 2021

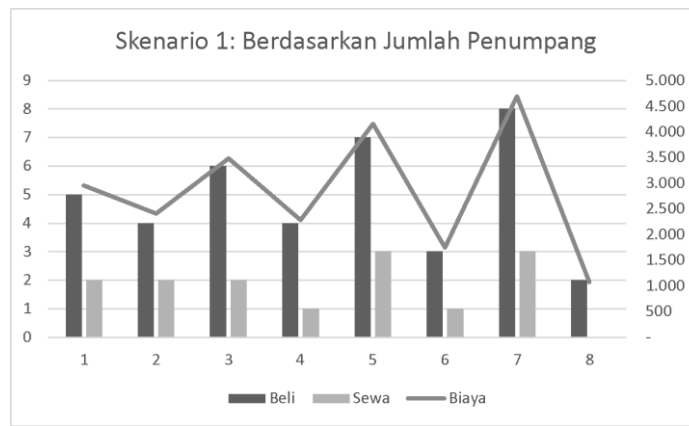
saat ini. Untuk mengantisipasi ketidakpastian tersebut, jumlah penumpang dapat menjadi salah satu acuan preventif situasi. Pertimbangan ini sesuai dengan hasil penelitian Tjahjono *et al* (2020) yang menyatakan bahwa jumlah penumpang dipengaruhi oleh preferensinya dalam menggunakan HSR [6].

Terdapat dua skenario yang diajukan dalam penelitian ini. Skenario pertama adalah mempertimbangkan perubahan jumlah penumpang tanpa menyesuaikan jumlah frekuensi perjalanan. Skenario 1 dapat dilihat pada Tabel 2.

Terdapat delapan sub-skenario yang menjadi pertimbangan berdasarkan perubahan potensi jumlah penumpang. Skenario tersebut adalah rendah-naik, rendah-turun, sedang-naik, sedang-turun, tinggi-naik, tinggi-turun, ekstrim-naik, dan ekstrim turun. Proyeksi jumlah penumpang HSR berada pada rentang 2 juta hingga 18 juta penumpang per tahun. Hasil pengolahan data untuk skenario 1 dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2, jumlah unit optimal adalah pada rentang 2-11 unit rangkaian. Jumlah rangkaian tersebut setara dengan 16-88 gerbong HSR. Adapun komposisi pengadaannya terdiri dari 2-8 unit dengan skema beli dan 0-3 unit dengan skema sewa.

Skenario kedua adalah mempertimbangkan perubahan pada jumlah penumpang dan menyesuaikan jumlah frekuensi perjalanan. Skenario kedua dapat dilihat pada Tabel 3 yang menunjukkan adanya perubahan pada jumlah penumpang dan frekuensi perjalanan HSR yang mengikuti pola perubahan pada persentase kenaikan atau penurunannya. Hasil pengolahan datanya dapat dilihat pada Gambar 3.



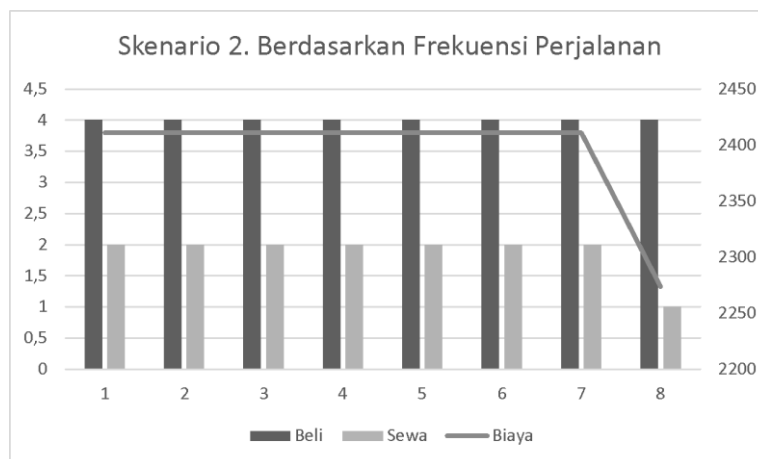
Sumber: hasil analisis, 2021

Gambar 2. Skenario 1 berdasarkan jumlah penumpang

Tabel 3. Skenario 2

No	Sub-skenario	Persentase	Jumlah Penumpang (Orang)	Frekuensi (pp)
1	Rendah-Naik	+ 10%	11.000.000	9
2	Rendah-Turun	- 10%	9.000.000	7
3	Sedang-Naik	+ 30%	13.000.000	10
4	Sedang-Turun	- 30%	7.000.000	6
5	Tinggi-Naik	+ 50%	15.000.000	12
6	Tinggi-Turun	- 50%	5.000.000	4
7	Ekstrim-Naik	+ 80%	18.000.000	14
8	Ekstrim-Turun	- 80%	20.000.000	2

Sumber: hasil analisis, 2021



Sumber: hasil analisis, 2021

Gambar 3. Skenario 2 berdasarkan frekuensi perjalanan

Berdasarkan Gambar 3, jumlah unit optimal adalah sebanyak 6 rangkaian (48 gerbong) dengan komposisi pengadaan 4 unit dengan skema beli dan 2 unit dengan skema sewa. Namun, jika perubahan jumlah penumpang mengalami penurunan sebesar 80% (ekstrim-turun), jumlah unit optimal berada pada 5 rangkaian (40 gerbong). Hasil penelitian ini mirip dengan hasil penelitian yang dilakukan Qi *et al* (2021) [11] dan Repko & Santos (2017) [21]. Penggunaan skenario dapat memberikan fleksibilitas dalam perencanaan kendaraan dan metode *Integer Linear Programming* (ILP) yang dapat digunakan untuk perencanaan jumlah rangkaian optimal HSR dengan mempertimbangkan jumlah penumpang dan frekuensi perjalanan.

4. Kesimpulan

Tipe kereta cepat (HSR) yang digunakan oleh PT. KCIC adalah HSR generasi terbaru. Jumlah optimal untuk tipe HSR tersebut adalah sebanyak 7 unit yang terdiri dari 5 unit dengan skema beli dan 2 unit dengan skema sewa. Jumlah unit tersebut setara dengan 56 gerbong HSR. Berdasarkan perhitungan skenario pada proyeksi jumlah pengguna, jumlah unit HSR optimal adalah 6 unit yang terdiri dari 4 unit dengan skema beli dan 1-2 unit dengan skema sewa. Jumlah tersebut setara dengan 48 gerbong dengan berbagai jumlah frekuensi perjalanan. Penelitian selanjutnya yang dapat dilakukan adalah perencanaan penjadwalan perawatan preventif terhadap seluruh rangkaian HSR menggunakan metode *Age Replacement*. Metode tersebut merupakan penjadwalan penggantian komponen berdasarkan umur komponen yang optimal. Tindakan ini bertujuan untuk meminimalkan biaya perawatan rangkaian dengan penjadwalan terencana sesuai dengan usia ekonomis komponen-komponennya.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pengelola Jurnal Badan Kebijakan Transportasi dan Jurnal Penelitian Transportasi Darat atas masukan, saran, dan kontribusinya dalam terbitnya artikel ini.

Daftar Pustaka

- [1] KCIC, "Jakarta-Bandung High Speed Railway [Online]," KCIC. [Online]. Available: <https://kcic.co.id>
- [2] Prasadja Ricardianto, Bimo Djanadi Prakoso, Soemino Eko Saputro, Suharto Abdul Majid, and Heriyanto Wibowo, "The Comparison between High-Speed Trains in the World and the Potential of Jakarta-Bandung Express Train in Indonesia," *International Journal of Scientific Engineering and Science*, vol. 4, no. 9, pp. 27–35, 2020.
- [3] Kamila Kluska, "Determination of the Optimal Number of Trailers for Milk-run Intralogistics System," in *FlexSim in Academe: Teaching and Research*, P. Pawlewski, P. Hoffa-Dabrowska, P. Golinska-Dawson, and K. Werner-Lewandowska, Eds., Springer, 2019, pp. 101–113.
- [4] F. Ramadhan and A. Imran, "Penentuan Rute Dan Jumlah Kendaraan Pada Kasus School Bus Routing Problem: Penerapan Algoritma Record-to-record Travel," *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, vol. 5, no. 01, p. 15, Jul. 2018, doi: 10.25124/jrsi.v5i01.307.
- [5] M. Choi, "A hybrid method for the determination of the minimum number of transport vehicles in a shipyard," *Journal of Advanced Marine Engineering and Technology*, vol. 45, no. 2, pp. 51–59, Apr. 2021, doi: 10.5916/jamet.2021.45.2.51.
- [6] T. Tjahjono, A. Kusuma, N. Tinumbia, and A. Septiawan, "The Indonesia high-speed train traveler preference analysis (case study: Jakarta-Bandung)," in *AIP Conference Proceedings*, 2020, p. 030011. doi: 10.1063/5.0005009.
- [7] E. Muslim, S. P. Fitharti, and G. Shabrina, "Strategy to increase customer loyalty on Indonesian railway," 2020, p. 040013. doi: 10.1063/5.0000929.
- [8] L. Listifadah, "Evaluasi Kinerja Pelayanan Kereta Api Bandara Manggarai-Soekarno Hatta Berdasarkan Persepsi Pengguna Jasa," *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, vol. 22, no. 2, pp. 180–193, Feb. 2021, doi: 10.25104/jptd.v22i2.1668.
- [9] S. R. Afriyanah, "Ability to Pay dan Willingness to Pay Pengguna Jasa dan Efektifitas Pelayanan Kereta Bandara (Studi Kasus: Kereta Bandara Soekarno-Hatta)," *Jurnal Penelitian Transportasi Darat*, vol. 21, no. 2, pp. 183–190, Jun. 2020, doi: 10.25104/jptd.v21i2.1569.
- [10] Y. Gao, M. Schmidt, L. Yang, and Z. Gao, "A branch-and-price approach for trip sequence planning of high-speed train units," *Omega (Westport)*, vol. 92, p. 102150, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.omega.2019.102150.
- [11] J. Qi, V. Cacchiani, L. Yang, C. Zhang, and Z. Di, "An Integer Linear Programming model for integrated train stop planning and timetabling with time-dependent passenger demand," *Comput Oper Res*, vol. 136, p. 105484, Dec. 2021, doi: 10.1016/j.cor.2021.105484.
- [12] Z. Wang, L. Zhou, B. Guo, X. Chen, and H. Zhou, "An Efficient Hybrid Approach for Scheduling the Train Timetable for the Longer Distance High-Speed Railway," *Sustainability*, vol. 13, no. 5, p. 2538, Feb. 2021, doi: 10.3390/su13052538.
- [13] Q. Zhang, X. Zhu, L. Wang, and S. Wang, "Simultaneous Optimization of Train Timetabling and Platforming Problems for High-Speed Multiline Railway Network," *J Adv Transp*, vol. 2021, pp. 1–16, Mar. 2021, doi: 10.1155/2021/6679008.
- [14] Y.-Y. Tan, Z.-B. Jiang, Y.-X. Li, and R.-X. Wang, "Integration of Train-Set Circulation and Adding Train Paths Problem Based on an Existing Cyclic Timetable," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 87142–87163, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2988978.
- [15] C. Cao and Z. Feng, "Optimal capacity allocation under random passenger demands in the high-speed rail network," *Eng Appl Artif Intell*, vol. 88, p. 103363, Feb. 2020, doi: 10.1016/j.engappai.2019.103363.
- [16] Y. Wang, Y. Zhou, and X. Yan, "Optimizing Train-Set Circulation Plan in High-Speed Railway Networks Using Genetic Algorithm," *J Adv Transp*, vol. 2019, pp. 1–12, Feb. 2019, doi: 10.1155/2019/8526953.
- [17] J. Xiao, J. Pachl, B. Lin, and J. Wang, "Solving the block-to-train assignment problem using the heuristic approach based on the genetic algorithm and tabu search," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 108, pp. 148–171, Feb. 2018, doi: 10.1016/j.trb.2017.12.014.
- [18] I. Belošević and M. Ivić, "Variable Neighborhood Search for Multistage Train Classification at Strategic Planning Level," *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, vol. 33, no. 3, pp. 220–242, Mar. 2018, doi: 10.1111/mice.12304.
- [19] H. M. Repolho, R. L. Church, and A. P. Antunes, "Optimizing station location and fleet composition for a high-speed rail line," *Transp Res E Logist Transp Rev*, vol. 93, pp. 437–452, Sep. 2016, doi: 10.1016/j.tre.2016.06.006.
- [20] C. Nash, "When to invest in high speed rail," *Journal of Rail Transport Planning & Management*, vol. 5, no. 1, pp. 12–22, May 2015, doi: 10.1016/j.jrtpm.2015.02.001.
- [21] M. G. J. Repko and B. F. Santos, "Scenario tree airline fleet planning for demand uncertainty," *J Air Transp Manag*, vol. 65, pp. 198–208, Oct. 2017, doi: 10.1016/j.jairtraman.2017.06.010.

- [22] China Railways, “Jakarta-Bandung HSR Project in Indonesia,” <http://www.china-railway.com.cn>.
- [23] CRRC Corporation, “Rolling Stock,” <https://www.crrcgc.cc>.
- [24] Siwage Dharma Negara and Leo Suryadinata, “Jakarta-Bandung High Speed Rail Project: Little Progress,” *ISEAS – Yusof Ishak Institute*, vol. 2018, no. 2, pp. 1–8, Jan. 2018.
- [25] Union Internationale des Chemins de fer (UIC), “High-Speed Databases and Atlas,” <https://uic.org>.
- [26] M. F. M. I. Adelino, *Riset Operasi: Pendekatan OpenSolver*. Sukabumi: Haura Utama, 2022.
- [27] International Railway Journal, “Testing Set to Begin on Saudi High-speed Line,” *International Railway Journal*. Accessed: Dec. 02, 2021. [Online]. Available: <https://www.railjournal.com>