

## ALGORITMA GRAVITATIONAL EMULATION LOCAL SEARCH PADA CVRP DAN IMPLEMENTASINYA

Febri Nur Azis<sup>1</sup>, Sapti Wahyuningsih<sup>1\*</sup>, Darmawan Satyananda<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jurusan Matematika Universitas Negeri Malang

Email: febrinurazis2@gmail.com (F. N. Aziz), sapti.wahyuningsih.fmipa@um.co.id (S. Wahyuningsih), darmawan.satyananda.fmipa@um.ac.id (D. Satyananda)

\* Corresponding author

### Abstract

Permasalahan optimalisasi distribusi dapat dipecahkan dengan menggunakan algoritma pada varian Vehicle Routing Problem (VRP). Salah satu varian dari VRP adalah Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) yaitu dengan tambahan kendala kapasitas kendaraan yang identik. Algoritma Gravitational Emulation Local Search (GELS) dapat digunakan untuk menentukan solusi CVRP. Algoritma GELS merupakan gabungan dari algoritma genetika dan local search (best improvement local search). Pada artikel ini dibahas langkah algoritma dan diimplementasikan ke dalam computer menggunakan aplikasi Borland Delphi 7. Input program berupa ukuran populasi, probabilitas crossover, probabilitas mutasi, maksimum iterasi, kapasitas kendaraan, banyaknya titik, dan permintaan setiap customer. Output berupa hasil rute dengan jarak yang ditempuh serta divisualisasi rutenya dengan gambar graph. Diberikan contoh penyelesaian permasalahan dengan contoh 7 titik terdiri dari satu depot dan enam customer. Hasil tampilan program berupa matrik bobot titik, permintaan, dan hasil berupa rute optimal. Aplikasi program GELS pada CVRP secara praktis dapat digunakan untuk penyelesaian optimasi distribusi.

**Keywords:** Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), Algoritma GELS, best improvement local search

Submitted: 1 December 2021; Revised: 16 December 2021 ; Accepted Publication: 5 January 2022;

Published Online: January 2022

DOI: 10.17977/um055v3i1p23-29

## PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman maka semakin banyak dan kompleks permasalahan yang dihadapi manusia dalam kehidupan sehari-hari. Perkembangan tersebut juga disertai dengan perkembangan ilmu pengetahuan. Matematika merupakan suatu bidang ilmu yang banyak digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan yang ada dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu cabang matematika yang dapat digunakan adalah teori graph. Teori graph merupakan cabang matematika yang dapat diaplikasikan dalam kehidupan sehari-hari. Salah satu penerapannya adalah masalah pendistribusian barang dari produsen atau agen ke pelanggan, yang harus mempertimbangkan keefisienan rute pendistribusian biaya transportasi seminimal mungkin.

Karakteristik permasalahan dalam transportasi ini dikategorikan ke dalam *Vehicle Routing Problem* (VRP). Suatu VRP adalah permasalahan optimalisasi untuk menentukan beberapa rute untuk sekumpulan kendaraan yang harus melayani sejumlah pelanggan dari depot pusat. Rute-rute tersebut diatur sedemikian rupa sehingga setiap pelanggan hanya dikunjungi oleh tepat satu kendaraan dengan setiap rute berawal dan berakhir di depot dengan total permintaan (*demand*) dari semua pelanggan dalam satu rute tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan. Penelitian tentang VRP dan variannya dari para peneliti dunia yaitu (Afshar-Nadjafi & Afshar-Nadjafi, 2017), (Yang, 2021), (Kyriakakis, 2021),

Salah satu varian dari VRP adalah *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*. CVRP merupakan VRP yang diikuti kendala kapasitas kendaraan yang identik. Tujuan CVRP adalah untuk mencari rute pendistribusian yang optimal, yaitu rute yang memiliki total jarak tempuh minimal dan waktu paling efektif sehingga didapatkan biaya pendistribusian yang minimum. Sumber rujukan tentang CVRP dapat dilihat pada (Wahyuningsih & Satyananda, 2018), (Satyananda & Wahyuningsih, 2019), (Krebs & Ehmke, 2021), (Doan et al., 2021), dan (Ewert et al., 2021)

Hasil penyelesaian masalah CVRP digambarkan dalam bentuk rute dari graph. Penyelesaian layak masalah CVRP merupakan himpunan rute dimana rute dikunjungi sejumlah kendaraan dari depot ke semua pelanggan tepat satu kali dengan permintaan yang sudah ditentukan serta tidak melanggar kendala kapasitas. Permasalahan CVRP telah banyak diselesaikan dengan menggunakan berbagai macam algoritma, baik algoritma *heuristic* maupun algoritma *metaheuristic*. Beberapa penelitian yang terkait dengan CVRP dan algoritma yang digunakan antara lain algoritma *genetika* dan algoritma *ant colony* yang dibahas oleh (Mazidi et al., 2016), algoritma *Variant Sweep and Swarm* yang dibahas oleh (Akhand et al., 2017), algoritma *Genetic and Guided Local Search* yang dibahas oleh (Rahmani Hosseinabadi et al., 2019), algoritma *Adaptive Sweep Clustering* yang dibahas oleh (Peya et al., 2018), algoritma *Artificial Bee Colony* yang dibahas oleh (Brajevic, 2011).

Algoritma *Gravitational Emulation Local Search (GELS)* merupakan algoritma metaheuristik yang diterapkan pada beberapa masalah optimasi kombinatorial (Hosseinabadi et al., 2017). Algoritma GELS didasarkan pada gagasan bahwa eksplorasi dari solusi yang diberikan harus dimulai dengan *neighborhood* yang telah ditentukan. *Neighborhood* merupakan himpunan hasil solusi dari penerapan suatu operator yang telah ditentukan. Jika tidak ada perbaikan yang ditemukan, maka pencarian harus diperluas ke *neighborhood* yang berbeda. Hal ini berlanjut sampai pencarian mencapai *neighborhood* terbesar yang tersedia. Jika pada suatu titik terdapat solusi yang lebih baik, maka prosesnya diatur ulang ke *neighborhood* pertama. Di sisi lain, proses berhenti jika semua *neighborhood* telah dieksplorasi dan tidak ada perbaikan ditemukan (Rahmani Hosseinabadi et al., 2019). Beberapa penelitian yang menggunakan algoritma GELS untuk menyelesaikan suatu permasalahan *Open Vehicle Routing Problem* (Hosseinabadi et al., 2018), *Multiple Travelling Salesman Problem* (Hosseinabadi et al., 2014), *Symmetric Travelling Salesman Problem* (Raja Balachandar & Kannan, 2007), dan .

Berdasarkan uraian di atas, maka pada artikel ini akan dikaji mengenai penggunaan algoritma GELS untuk menyelesaikan CVRP dan implementasi program dengan bahasa pemrograman *Borland Delphi 7.0*. Selanjutnya, program yang telah dibuat akan digunakan untuk menyelesaikan contoh CVRP dengan menggunakan *7 customer*.

## METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi pustaka untuk mengkaji penerapan algoritma VND pada permasalahan VRPSDP
2. Mengimplementasikan algoritma VND pada VRPSDP ke program komputer menggunakan *Borland Delphi 7*, dengan langkah menginputkan data, memproses penyelesaian dengan algoritma, dan selanjutnya akan diperoleh solusi akhir algoritma
3. Menerapkan contoh permasalahan VRPSDP dengan *10 customer* pada program yang telah dibuat.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penyelesaiannya, algoritma GELS pada CVRP terdapat langkah yang digunakan yaitu pembangkitan populasi awal dan menyeleksi populasi dengan *roulette wheel*. Pada tahap pembangkitan populasi awal, akan digunakan algoritma Genetika, lalu dilakukan evaluasi nilai

*fitness* dari tiap populasi yang terbentuk. Setelah mengevaluasi nilai *fitness* dari populasi, lalu populasi diperbaiki menggunakan algoritma *Local Search* dan pada akhir proses akan dibentuk sekumpulan populasi baru. Dalam proses seleksi, akan digunakan dari rumus gravitasi untuk menentukan probabilitas kumulatif nilai yang digunakan dalam proses *crossover* dan mutasi. Dari langkah tersebut akan diperoleh beberapa populasi. Populasi terbaik akan dipilih dan akan dibandingkan dengan populasi awal. Jika semua langkah telah dilakukan dan populasi perbaikan yang diperoleh minimum, maka kondisi optimum dari algoritma GELS telah tercapai.

Langkah-langkah algoritma GELS pada CVRP adalah:

1. Penginisialisasian populasi dengan merepresentasikan tiap customer atau pelanggan dalam titik.
2. Pembangkitan populasi awal secara acak dengan permutasi *Josephus*.
3. Validasi permintaan tiap rute untuk memperoleh banyaknya kendaraan yang digunakan dalam tiap rute.
4. Mengevaluasi fungsi *fitness* dari tiap populasi.
5. Pilih sesuai dengan  $n$  individu terbaik dan masing-masing rute(individu) akan di *local search* (*best improved local search*) dan pada akhir proses akan dibentuk sekumpulan rute(populasi) baru.
6. Menyeleksi dengan *roulette wheel*, dengan langkah-langkah:
  - a. Menghitung bobot dari masing-masing rute
  - b. Menghitung gravitasi dengan rumus
 
$$F[i] = G * \frac{(\text{fitness}(CU[i]) - \text{fitness}(CA[i]))}{R[i]}$$
  - c. Menghitung probabilitas dengan rumus
 
$$M[i] = \frac{F[i]}{\sum_{i=1}^n F[i]}$$
  - d. Mencari nilai kumulatif dari probabilitasnya
 
$$C[1] = P[1]$$

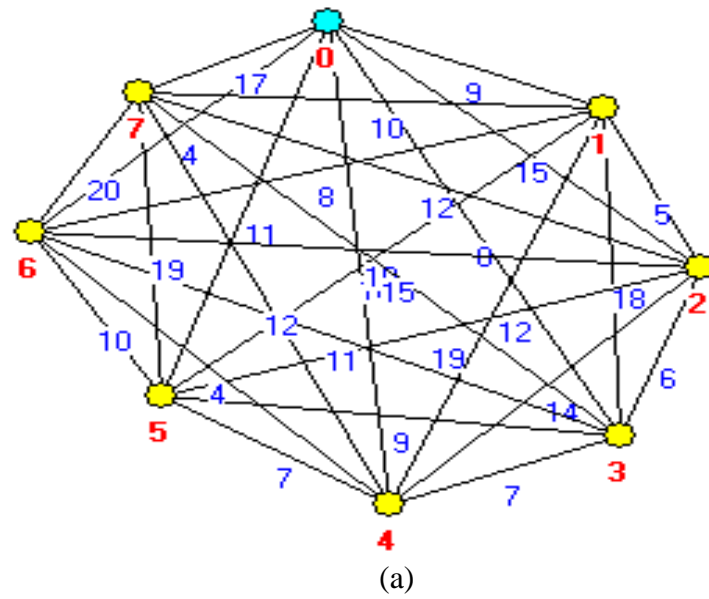
$$C[k] = C[k - 1] + P[k] \quad ; k = 2, 3, \dots, n \quad (n = \text{pop size})$$
  - e. Memilih rute yang menghasilkan sekumpulan rute (populasi) berikutnya, dilakukan dengan cara mengambil  $n$  bilangan random dengan  $0 < r < 1$  dan membandingkan bilangan random tersebut dengan probabilitas kumulatif bobot setiap rute.
7. Melakukan *crossover* dan mutasi pada individu-individu tersebut sehingga didapatkan rute baru serta validasi rute baru tersebut, dan menghitung nilai *fitness*.
8. Keturunan-keturunan yang berupa rute baru dan rute lama tersebut diurutkan berdasarkan fungsi *fitness*, serta melakukan mutasi.
9. Hasil yang sudah diurutkan setelah proses mutasi akan di *local search* (*best improved local search*) lagi dan pada akhir proses akan dibentuk sekumpulan rute (populasi) baru.

Mengevaluasi jarak rute-rute dengan fungsi *fitness* terbaik tersebut. Apabila sudah memenuhi semua kendala dalam CVRP dipilih  $n$  rute terbaik.

### Implementasi Algoritma GELS pada CVRP

Implementasi algoritma GELS pada CVRP telah dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman *Borland Delphi 7*. *Input* yang terdapat pada program adalah posisi titik, jarak antar titik, permintaan dan pengembalian *customer* serta kapasitas kendaraan. *Output* yang terdapat pada program berupa rute-rute yang telah diselesaikan dengan menggunakan algoritma GELS pada CVRPS dan *output* yang berupa gambar dari solusi akhir yang telah diperoleh.

Diberikan contoh penyelesaian CVRPS dengan 7 *customer* yang dapat dilihat pada Gambar 1 di bawah ini.

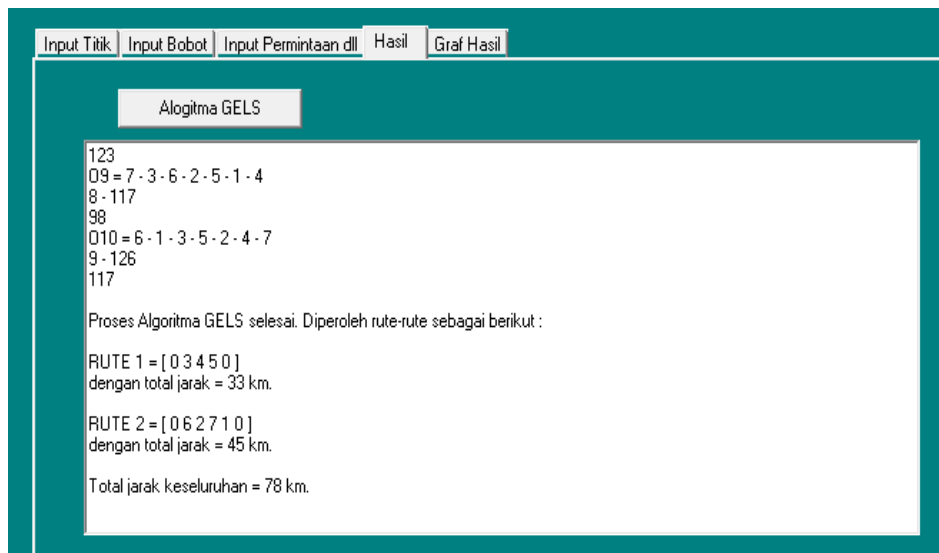


Input Titik	Input Bobot	Input Permintaan dll	Hasil	Graf Hasil				
	0	1	2	3	4	5	6	7
0		9	15	8	10	11	4	17
1	9		5	18	12	9	8	10
2	15	5		6	14	19	10	12
3	8	18	6		7	9	11	15
4	10	12	14	7		7	4	12
5	11	9	19	9	7		10	19
6	4	8	10	11	4	10		20
7	17	10	12	15	12	19	20	

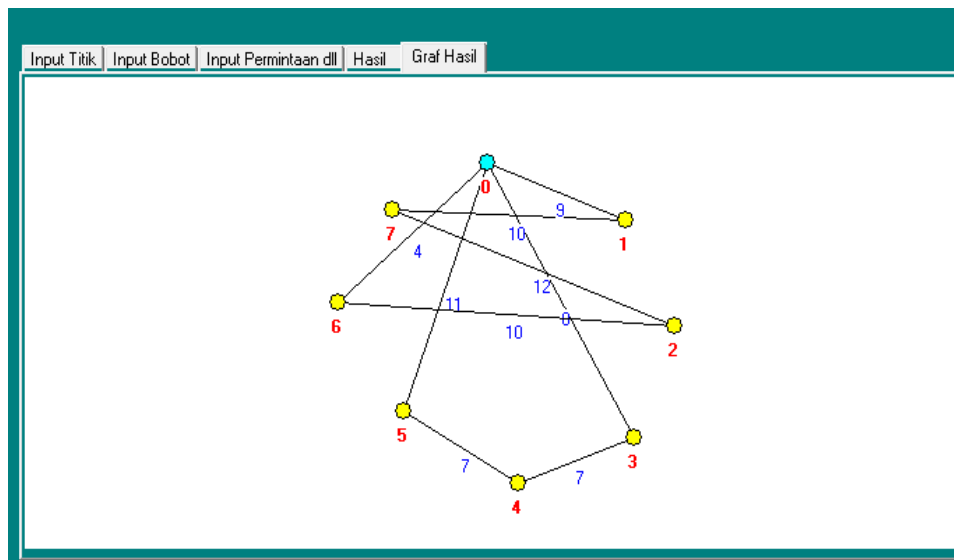
(b)

Input Titik	Input Bobot	Input Permintaan dll	Hasil	Graf Hasil
<b>Input Permintaan Pelanggan</b>		<b>Input Algoritma GELS</b>		
Pelanggan	Permintaan	Banyak Populasi	<input type="text" value="10"/>	
1	25	Kapasitas Kendaraan	<input type="text" value="65"/>	
2	10	Probabilitas Crossover	0. <input type="text" value="8"/>	
3	15	Probabilitas Mutasi	0. <input type="text" value="01"/>	
4	20	Maks Iterasi	<input type="text" value="1"/>	
5	30			
6	10			
7	20			

(c)



(d)



(e)

**Gambar 1.** Tampilan Penyelesaian CVRP dengan 7 customer. (a) *Graph* awal, (b) *Input* bobot, (c) *Input* Permintaan, *Populasi*, *Kapasitas*, *probabilitas corosover*, *probabilitas mutasi*, dan *Max Iter*, (d) Hasil akhir yang diperoleh, (e) *Rute Akhir*.

Berdasarkan hasil penyelesaian dengan program, hasil akhir diperoleh 2 rute perjalanan. Rute pertama yaitu 0-3-4-5-0 dengan jarak 33 km, rute kedua yaitu 0-6-2-1-7-0 dengan jarak 45 km. Kedua rute memiliki total jarak yaitu 78 km.

**PENUTUP**

Dalam penyelesaiannya, algoritma GELS pada CVRP terdapat langkah yang digunakan yaitu pembangkitan populasi awal dan menyeleksi populasi dengan *roulette wheel*. Pada tahap pembangkitan populasi awal, akan digunakan algoritma *Genetika*, lalu dilakukan evaluasi nilai *fitness* dari tiap populasi yang terbentuk. Setelah mengevaluasi nilai *fitness* dari populasi, lalu populasi diperbaiki menggunakan algoritma *Local Search* dan pada akhir proses akan dibentuk sekumpulan populasi baru. Dalam proses seleksi, akan digunakan dari rumus gravitasi untuk menentukan probabilitas kumulatif nilai yang digunakan dalam proses *crossover* dan mutasi. Dari langkah tersebut akan diperoleh beberapa populasi. Populasi terbaik akan dipilih dan akan dibandingkan dengan populasi awal. Jika semua langkah telah dilakukan dan populasi

perbaikan yang diperoleh minimum, maka kondisi optimum dari algoritma GELS telah tercapai. Implementasi algoritma GELS pada CVRP telah dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman *Borland Delphi 7*. *Input* yang terdapat pada program adalah posisi titik, jarak antar titik, permintaan dan pengembalian *customer* serta kapasitas kendaraan. *Output* yang terdapat pada program berupa rute-rute yang telah diselesaikan dan gambar graph dari solusi akhir.

## ACKNOWLEDGMENTS

Artikel ini merupakan hasil penelitian hibah skripsi dana PNBPU UM, dengan nomor kontrak: 4.3.437/UN32.14.1/LT/2020, berjudul “Algoritma *Gravitational Emulation Local Search* pada *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* dan implementasinya”. Terima kasih penulis mengucapkan kepada Universitas Negeri Malang atas support dana penelitian ini.

## Daftar Rujukan

- Afshar-Nadjafi, B., & Afshar-Nadjafi, A. (2017). A constructive heuristic for time-dependent multi-depot vehicle routing problem with time-windows and heterogeneous fleet. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 29(1), 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.jksues.2014.04.007>
- Akhand, M. A. H., Peya, Z. J., Sultana, T., & Rahman, M. M. H. (2017). Solving capacitated vehicle routing problem using variant sweep and swarm intelligence. *Journal of Applied Science and Engineering*, 20(4), 511–524. <https://doi.org/10.6180/jase.2017.20.4.13>
- Brajevic, I. (2011). Artificial bee colony algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Proceedings of the European Computing Conference, ECC '11, January 2011*, 239–244.
- Doan, T. T., Bostel, N., & Hà, M. H. (2021). The vehicle routing problem with relaxed priority rules. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 10, 100039. <https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2021.100039>
- Ewert, R., Martins-Turner, K., Thaller, C., & Nagel, K. (2021). Using a Route-based and Vehicle Type specific Range Constraint for Improving Vehicle Routing Problems with Electric Vehicles. *Transportation Research Procedia*, 52, 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2021.01.061>
- Hosseinabadi, A. A. R., Rostami, N. S. H., Kardgar, M., Mirkamali, S., & Abraham, A. (2017). A new efficient approach for solving the capacitated Vehicle Routing Problem using the Gravitational Emulation Local Search Algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, 49, 663–679. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.02.042>
- Hosseinabadi, A. A. R., Siar, H., Shamsirband, S., Shojafar, M., & Mohd Hairul, M. H. N. (2014). Using the gravitational emulation local search algorithm to solve the multi-objective flexible dynamic job shop scheduling problem in Small and Medium Enterprises. *Annals of Operations Research*, 229(1), 451–474. <https://doi.org/10.1007/s10479-014-1770-8>
- Hosseinabadi, A. A. R., Vahidi, J., Balas, V. E., & Mirkamali, S. S. (2018). OVRP\_GELS: solving open vehicle routing problem using the gravitational emulation local search algorithm. *Neural Computing and Applications*, 29(10), 955–968. <https://doi.org/10.1007/s00521-016-2608-x>
- Krebs, C., & Ehmke, J. F. (2021). Axle Weights in combined Vehicle Routing and Container Loading Problems. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 10, 100043. <https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2021.100043>
- Kyriakakis, N. A. (2021). A hybrid ant colony optimization-variable neighborhood descent approach for the cumulative capacitated vehicle routing problem. 20.

- Mazidi, A., Fakhrahmad, M., & Sadreddini, M. (2016). A meta-heuristic approach to CVRP problem: Local search optimization based on GA and ant colony. *Journal of Advances in Computer Research*, 7(December), 1–22.
- Peya, Z. J., Akhand, M. A. H., & Murase, K. (2018). Capacitated Vehicle Routing Problem Solving through Adaptive Sweep Based Clustering plus Swarm Intelligence based Route Optimization. *Oriental Journal of Computer Science and Technology*, 11(2), 88–102. <https://doi.org/10.13005/ojst11.02.04>
- Rahmani Hosseinabadi, A. A., Slowik, A., Sadeghilalimi, M., Farokhzad, M., Babazadeh Shareh, M., & Sangaiah, A. K. (2019). An Ameliorative Hybrid Algorithm for Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem. *IEEE Access*, 7, 175454–175465. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2957722>
- Raja Balachandar, S., & Kannan, K. (2007). Randomized gravitational emulation search algorithm for symmetric traveling salesman problem. *Applied Mathematics and Computation*, 192(2), 413–421. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.03.019>
- Satyananda, D., & Wahyuningsih, S. (2019). VND in CVRP, MDVRP, and VRPTW cases. *Journal of Physics: Conference Series*, 1320, 012025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1320/1/012025>
- Wahyuningsih, S., & Satyananda, D. (2018). Improvement of CVRP and MTRP Solution using Local Search Method and its Implementation Using Google Map. *Proceedings of the 1st Annual International Conference on Mathematics, Science, and Education (ICoMSE 2017)*. 1st Annual International Conference on Mathematics, Science, and Education (ICoMSE 2017), Malang, Indonesia. <https://doi.org/10.2991/icomse-17.2018.21>
- Yang, S. (2021). Optimizing electric vehicle routing problems with mixed backhauls and recharging strategies in multi-dimensional representation network. *Expert Systems With Applications*, 22.