

ALGORITMA GENERAL VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH PADA CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS DAN IMPLEMENTASINYA

Ulil Ilmi Fadila¹, Sapti Wahyuningsih^{1,*}, Darmawan Satyananda¹

¹Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Malang

Email: ulililmifadila@gmail.com (U. I. Fadila), sapti.wahyuningsih.fmipa@um.ac.id (S. Wahyuningsih), darmawan.satyananda.fmipa@um.ac.id (D. Satyananda)

*Corresponding Author

Abstract

The Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) is one of the variants of the Vehicle Routing Problem (VRP), which is the problem of determining the optimal route from the depot to the consumer which is located spread out with different requests. In CVRPTW problem solving considers capacity and time constraints. Determining the optimal route can reduce costs and energy spent during the distribution process. The General Variable Neighborhood Search (GVNS) algorithm can be applied to the CVRPTW problem. The GVNS algorithm is an improvement on the VNS algorithm using RVND. The GVNS algorithm starts with finding the initial solution, continues with perturbation, and then the repair procedure is carried out. Perturbation and improvements to the GVNS algorithm are performed repeatedly according to the predetermined IterMax. The GVNS algorithm for CVRPTW will be implemented using the Borland Delphi 7.0 programming language. The product in the form of this application can be used more practically to solve CVRPTW problems using the GVNS algorithm.

Keywords: Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW), General Variable Neighborhood Search (GVNS) Algorithm, Randomized Variable Neighborhood Descent (RVND)

Submitted: 1 October 2021; Revised: 29 October 2021; Accepted Publication: 9 November 2021;

Published Online: January 2022

DOI: 10.17977/um055v3i1p1-7

PENDAHULUAN

Teori graph merupakan suatu cabang ilmu matematika yang didalamnya terdapat beberapa konsep yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan distribusi. Permasalahan tersebut diringkas dalam bentuk simbol atau lambang agar lebih mudah dalam menyelesaikannya. Salah satu konsep tersebut adalah *Vehicle Routing Problem* (VRP).

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan suatu permasalahan penentuan rute-rute dari beberapa kendaraan yang identik pada depot untuk melayani beberapa konsumen. Tujuan dari permasalahan VRP adalah untuk melayani konsumen sesuai dengan permintaan dengan meminimalkan biaya angkut dan jumlah kendaraan, yang dimulai dan berakhir di depot. Penelitian terdahulu tentang varian VRP. Penelitian terdahulu tentang varian VRP dapat dilihat pada (Afshar-Nadjafi & Afshar-Nadjafi, 2017), (Yang, 2021), (Kyriakakis, 2021), (Satyananda & Wahyuningsih, 2019b), (Wahyuningsih & Satyananda, 2015), (Wahyuningsih & Satyananda, 2014), (Wahyuningsih & Satyananda, 2018), dan (Wahyuningsih & Satyananda, 2020). Salah satu varian dari VRP adalah *Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows* (CVRPTW). CVRPTW merupakan kombinasi dari bentuk umum *capacitated vehicle routing problem* (CVRP) dan *vehicle routing problem with time windows* (VRPTW). CVRPTW didefinisikan sebagai permasalahan pencarian rute dengan total biaya dan waktu minimum dengan menggunakan beberapa kendaraan berkapasitas tertentu untuk

mengunjungi setiap konsumen tepat satu kali, yang dimulai dan berakhir di depot dan tanpa mengabaikan kendala kapasitas dan waktu.

Beberapa peneliti telah mengkaji salah satu varian dari VRP yaitu CVRPTW. Salah satunya adalah penyelesaian CVRPTW menggunakan algoritma *hybrid large-neighborhood search* (Liu & Jiang, 2019). Algoritma genetika (Abouhenidi, 2014), algoritma *Ant Colony Optimization* (ACO) (Soenandi & Marpaung, 2019), dan penerapan CVRPTW pada pengumpulan sumbangan makanan (Guillermo et al., 2017).

Variable Neighborhood Search (VNS) merupakan salah satu metode metaheuristik yang bertujuan untuk menyelesaikan masalah pengoptimalan kombinatorial. Ide dasarnya adalah perubahan *neighborhood* yang sistematis dikombinasikan dengan *local search* (Hansen, 2018). Algoritma GVNS merupakan algoritma VNS dimana perbaikan solusinya menggunakan algoritma *Variable Neighborhood Descent* (VND) (Bezerra & Souza, 2018). *Neighborhood* adalah sekumpulan hasil solusi dari penerapan operasi tertentu (Satyananda & Wahyuningsih, 2019a). Dari solusi awal, suatu operasi dapat menghasilkan berbagai kemungkinan solusi. Kemungkinan solusi tersebut yang kemudian disebut dengan *neighborhood*.

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

METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi pustaka untuk mengkaji penerapan algoritma GVNS pada permasalahan CVRPTW
2. Mengimplementasikan algoritma GVNS pada CVRPTW 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 CVRPTW dengan 7 titik pada program yang telah dibuat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada algoritma GVNS, langkah pertama yaitu mencari solusi awal. Pada penelitian ini, solusi awal dibangkitkan menggunakan prosedur *clarke and wright* dimana solusi tersebut merupakan solusi awal dari permasalahan CVRPTW. Selanjutnya dilakukan prosedur perturbasi untuk memperoleh solusi acak. Setelah prosedur perturbasi, dilakukan perbaikan solusi menggunakan RVND. Prosedur perturbasi dan RVND dilakukan secara berulang sesuai dengan maksimum iterasi yang telah ditentukan (*IterMax*). Jika perbaikan menghasilkan solusi yang lebih baik, maka solusi awal diganti dengan solusi baru, dan jika perbaikan menghasilkan solusi sama atau tidak lebih baik maka solusi tetap.

Data masukan yang diperlukan untuk penyelesaian CVRPTW menggunakan algoritma *clarke and wright* yaitu $c_{i,j}$, $t_{i,j}$, d_i , f_i , dimana $c_{i,j}$ adalah jarak antara titik i dan j . d_i merupakan permintaan dari konsumen i . f_i merupakan waktu pelayanan di konsumen i . Selain itu terdapat data masukan lain yaitu kapasitas kendaraan, kecepatan rata-rata kendaraan, dan waktu pelayanan pada masing-masing konsumen.

Langkah selanjutnya adalah menghitung nilai $t_{i,j}$, yang mana merupakan waktu yang ditempuh dari titik i menuju titik j . Nilai $t_{i,j}$ dapat diperoleh dari rumus perhitungan waktu dengan membagi antara jarak dan kecepatan rata-rata. Selanjutnya, menghitung $S(i, j)$ (nilai

saving). Untuk mendapatkan $S(i, j)$, menggunakan rumus $S(i, j) = t_{i,0} + t_{0,j} - t_{i,j}$, untuk $i = 1, 2, 3, \dots, n-1$ dan $j = i+1, \dots, n$.

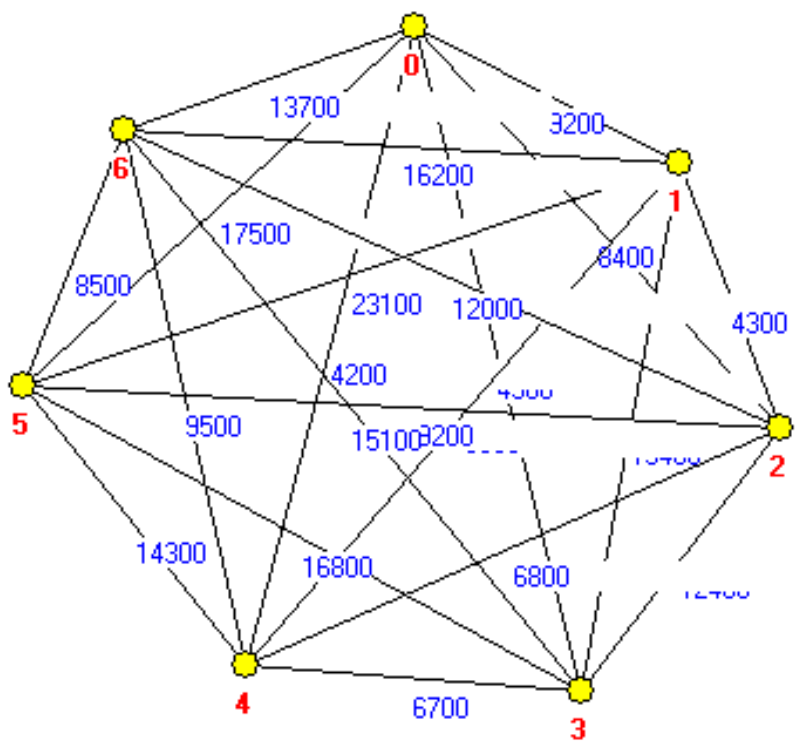
Tahap selanjutnya yaitu mengurutkan nilai *saving* dari yang terbesar ke paling kecil. Kemudian dari nilai *saving* terurut dibentuk rute yang memenuhi kendala kapasitas dan *time windows*. Apabila dalam suatu rute telah melanggar kendala kapasitas atau *time windows*, maka harus dilakukan pembentukan rute baru. Langkah ini dilakukan sampai semua titik termuat dalam rute-rute yang terbentuk sehingga diperoleh solusi awal. Setelah solusi awal terbentuk, langkah selanjutnya yaitu pengacakan solusi menggunakan perturbasi.

Perturbasi merupakan perpindahan atau pertukaran konsumen dari solusi secara acak. Tujuan dari perturbasi adalah agar solusi yang diperoleh tidak terjebak pada konsisi optimum lokal. Percobaan yang dilakukan dalam prosedur perturbasi adalah sebanyak maksimum percobaan yang telah ditentukan. Pada proses perturbasi, perukaran atau perpindahan dilakukan secara acak menggunakan operator *neighborhood*. Hasil dari percobaan ini tidak harus lebih optimal dari solusi sebelumnya.

Perbaikan solusi yang terdapat pada algoritma GVNS adalah RVND. RVND dilakukan setelah prosedur perturbasi. Pada penelitian ini digunakan *neighborhood* sebanyak enam yang meliputi perpindahan *inter-route* dan *intra-route*. *Inter-route* merupakan perpindahan konsumen yang dilakukan antar rute, sedangkan *intra-route* merupakan perpindahan yang dilakukan di dalam rute.

Enam *neighborhood* didaftar secara acak yang kemudian diterapkan dalam perbaikan solusi secara berurutan. Jika dalam suatu perbaikan menghasilkan solusi yang lebih optimal (solusi layak) maka perbaikan akan dimulai dari *neighborhood* pertama dalam daftar. Jika perbaikan menghasilkan solusi tidak layak, maka perbaikan solusi dilakukan dengan *neighborhood* selanjutnya.

Implementasi algoritma GVNS pada CVRPTW telah dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman *Borland Delphi 7*. *Input* yang terdapat pada program adalah posisi titik, jarak antar titik, permintaan dan *service time* konsumen, kecepatan dan kapasitas kendaraan, jam buka tutup konsumen, dan *time window*. *Output* yang terdapat pada program berupa rute-rute yang telah diselesaikan dengan menggunakan algoritma GVNS pada CVRPTW. Diberikan contoh penyelesaian CVRPTW dengan 7 titik yang dapat dilihat pada Gambar 1. Berdasarkan hasil penyelesaian dengan program, hasil akhir diperoleh dua rute yaitu rute 0 – 1 – 2 – 0 dan rute 0 – 3 – 5 – 6 – 4 – 0 dengan total jarak tempuh 65.2 km.



(a)

	0	1	2	3	4	5	6
0		9200	8400	4300	4200	17500	13700
1	9200		4300	13400	9600	23100	16200
2	8400	4300		12400	6800	19200	12000
3	4300	13400	12400		6700	16800	15100
4	4200	9600	6800	6700		14300	9500
5	17500	23100	19200	16800	14300		8500
6	13700	16200	12000	15100	9500	8500	

(b)

Konsumen	Permintaan	Konsumen	Jam Buka	Konsumen	Jam Tutup
1	10	1	30	1	330
2	18	2	30	2	330
3	14	3	90	3	450
4	2	4	90	4	390
5	8	5	30	5	390
6	9	6	30	6	330

(c)

INPUT DATA DEPOT

Kapasitas Kendaraan (unit)

Time Window (TW) (jam)

Service Time (jam)

Kecepatan Kendaraan (km/jam)

Banyak Iterasi

(d)

```

PEMBENTUKAN SOLUSI AWAL MENGGUNAKAN ALGORITMA CLARKE-WRIGHT

Solusi awal yang terbentuk:
Rute1:  0  3  5  4  6  0
Rute2:  0  1  2  0
Jarak Total: 80500

*****
GVNS

Rute1:  0  1  2  0
Rute2:  0  3  5  6  4  0
Jarak Total: 65200
    
```

(e)

Gambar 1. Tampilan penyelesaian CVRPTW dengan 7 titik, (a) *Graph* awal, (b) *Input* bobot (dalam meter), (c) *Input* permintaan dan jam buka tutup konsumen (d) *Input* kapasitas kendaraan, *time window*, *service time*, kecepatan kendaraan, dan banyak iterasi, (e) Hasil akhir (dalam meter)

PENUTUP

Penerapan algoritma GVNS pada CVRPTW secara umum terdiri dari tiga langkah yaitu pencarian solusi awal, pengacakan solusi menggunakan perturbasi, dan perbaikan solusi menggunakan RVND. Solusi awal dibangkitkan menggunakan prosedur *clarke and wright* dimana solusi tersebut merupakan solusi awal dari permasalahan CVRPTW. Selanjutnya dilakukan prosedur perturbasi untuk memperoleh solusi acak. Setelah prosedur perturbasi, dilakukan perbaikan solusi menggunakan RVND. Prosedur perturbasi dan RVND dilakukan secara berulang sesuai dengan maksimum iterasi yang telah ditentukan (*IterMax*). Jika perbaikan menghasilkan solusi yang lebih baik, maka solusi awal diganti dengan solusi baru, dan jika perbaikan menghasilkan solusi sama atau tidak lebih baik maka solusi tetap. Implementasi algoritma GVNS pada CVRPTW telah dibuat dengan menggunakan bahasa pemrograman *Borland Delphi 7*. *Input* yang terdapat pada program adalah posisi titik, jarak antar titik, permintaan dan jam buka tutup konsumen, *time windows*, *service time*, kapasitas kendaraan, serta kecepatan kendaran. *Output* yang terdapat pada program berupa rute-rute yang telah diselesaikan dari solusi akhir dan total jarak tempuh.

ACKNOWLEDGMENTS

Artikel ini merupakan hasil penelitian hibah skripsi dana PNPB UM, dengan nomor kontrak : 4.3.437/UN32.14.1/LT/2020, berjudul “Algoritma General Variable Neighborhood Search pada Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) dan Implementasinya”. Terimakasih penulis ucapkan kepada Universitas Negeri Malang atas support dana penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Abouhenidi, H. M. (2014). *Application of Genetic Algorithm to Solve Capacitated Vehicle Routing Problem With Time Windows and Non-Identical Fleet*. 5(6), 1423–1428.
- 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>
- Bezerra, S. N., & Souza, S. R. De. (2018). A GVNS Algorithm for Solving the Multi-Depot Vehicle Routing Problem. 66, 167–174. <https://doi.org/10.1016/j.endm.2018.03.022>
- Guillermo, I., Arenas, P., Sánchez, A. G., & Armando, C. (2017). *CVRPTW model applied to the collection of food donations*. 1307–1314.
- Hansen, P. (2018). *Variable Neighborhood Search Methods*. May 2014. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-74759-0>
- Kyriakakis, N. A. (2021). *A hybrid ant colony optimization-variable neighborhood descent approach for the cumulative capacitated vehicle routing problem*. 20.
- Liu, R., & Jiang, Z. (2019). A hybrid large-neighborhood search algorithm for the cumulative capacitated vehicle routing problem with time-window constraints. *Applied Soft Computing Journal*, 80, 18–30. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.03.008>
- Satyananda, D., & Wahyuningsih, S. (2019a). *Sequential order vs random order in operators of variable neighborhood descent method*. 17(2), 801–808. <https://doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v17i2.11789>
- Satyananda, D., & Wahyuningsih, S. (2019b). VND in CVRP, MDVRP, and VRPTW cases. *Journal of Physics: Conference Series*, 1320, 012025. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1320/1/012025>
- Soenandi, I. A., & Marpaung, B. (2019). *Optimasi Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows dengan Menggunakan Ant Colony Optimization*. 3(1), 59–66.

- Wahyuningsih, S., & Satyananda, D. (2014). *Characteristic Studies of Solution the Multiple Trip Vehicle Routing Problem (MTVRP) and its Application in Optimization of Distribution Problem*.
- Wahyuningsih, S., & Satyananda, D. (2015). *M – 14 THE CHARACTERISTICS STUDY OF SOLVING VARIANTS OF VEHICLE ROUTING PROBLEM AND ITS APPLICATION ON DISTRIBUTION PROBLEM*. 8.
- Wahyuningsih, S., & Satyananda, D. (2018). Improvement of CVRP and MTVRP 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>
- Wahyuningsih, S., & Satyananda, D. (2020). Improvement of solution using local search method by perturbation on VRPTW variants. *Journal of Physics: Conference Series*, 1581, 012004. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1581/1/012004>
- Yang, S. (2021). Optimizing electric vehicle routing problems with mixed backhauls and recharging strategies in multi-dimensional representation network. *Expert Systems With Applications*, 22.