



Penerapan Algoritma *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) pada *Capacitated Vehicle Routing Problem*

Amalia Putri Nur Habibah^{a,*}, Kiswara Agung Santoso^a, Ahmad Kamsyakawuni^a

^a Universitas Jember, Jalan Kalimantan 37 Kampus Tegal Boto, Jember 68121, Indonesia

* Alamat Surel: amaliapnh@gmail.com

Abstrak

Pendistribusian barang menjadi salah satu permasalahan yang patut diperhitungkan dalam berjalannya suatu perusahaan. Pemilihan rute dalam pendistribusian barang akan menentukan besar keuntungan yang didapat oleh suatu perusahaan. *Capacitated Vehicle Routing Problem* merupakan salah satu permasalahan terkait pendistribusian barang dalam menentukan rute paling minimum. Permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* termasuk dalam permasalahan yang cukup kompleks. Oleh sebab itu, pada penelitian ini dikembangkan algoritma metaheuristik untuk menyelesaikan permasalahan tersebut. Algoritma *Ant Colony* pada penelitian sebelumnya memberikan penyelesaian terbaik dalam *Capacitated Vehicle Routing Problem* berskala besar dan solusi yang mendekati optimal. Namun, algoritma ini memiliki kelemahan yakni mengalami konvergensi *premature* (mudah terjebak dalam solusi optimum lokal). Dalam mengatasi hal tersebut, peneliti melakukan hibridisasi algoritma *Ant Colony System* dengan *Discrete Firefly Algorithm*. *Firefly Algorithm* merupakan algoritma metaheuristik yang menyediakan ruang solusi lebih beranekaragam sehingga hal ini berkesinambungan untuk melengkapi kelemahan algoritma *Ant Colony System* yang mudah terjebak dalam solusi optimum lokal. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa algoritma *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) mampu menghasilkan solusi yang baik. Selain itu, algoritma *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) juga sangat kompetitif dibandingkan dengan algoritma heuristik *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) maupun *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) with *Sweep Clustering*.

Kata kunci:

Distribusi, *Capacitated Vehicle Routing Problem*, *Ant Colony System*, *Discrete Firefly Algorithm*.

© 2021 Dipublikasikan oleh Jurusan Matematika, Universitas Negeri Semarang

1. Pendahuluan

Pendistribusian barang menjadi salah satu permasalahan yang patut diperhitungkan dalam berjalannya suatu perusahaan. Pemilihan rute dalam pendistribusian barang akan menentukan besar keuntungan yang didapat oleh suatu perusahaan. *Vehicle Routing Problem* (VRP) merupakan jenis permasalahan terkait pendistribusian barang dalam menentukan rute paling minimum dari depot (produsen) ke pelanggan (konsumen). *Vehicle Routing Problem* (VRP) memiliki banyak varian berdasarkan karakteristik atau batasan permasalahan, salah satunya yaitu *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). CVRP adalah salah satu varian dari VRP dengan kendala setiap kendaraan memiliki kapasitas terbatas (Toth & Vigo, 2002).

Permasalahan VRP termasuk dalam permasalahan yang cukup kompleks. Berdasar hal tersebut, VRP banyak diselesaikan menggunakan algoritma metaheuristik. Metaheuristik merupakan perluasan dari algoritma heuristik. Algoritma metaheuristik memiliki kecepatan pencarian solusi optimal yang lebih baik daripada metode tradisional atau eksak (Madi *et al.* 2013).

Beberapa algoritma metaheuristik yang telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan VRP yaitu algoritma *Ant Colony System* (Dorigo & Gambardella, 1996). Algoritma ACS merupakan algoritma

To cite this article:

Habibah, A. P. N., Santoso, K. A., & Kamsyakawuni, A. (2021). Penerapan Algoritma *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) pada *Capacitated Vehicle Routing Problem*. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika*, 500-507

metaheuristik yang diadopsi mengikuti perilaku koloni semut dalam mencari makanan. Algoritma ini banyak diminati oleh para peneliti untuk dikembangkan lebih lanjut pada permasalahan optimasi terlebih VRP, dikarenakan algoritma ini dapat memberikan solusi terbaik pada permasalahan berskala besar dan memiliki kompleksitas komputasi yang tinggi. Namun, algoritma ACS ini memiliki kelemahan dalam hal konvergensi (konvergensi *premature*) yakni mencapai solusi optimum yang belum waktunya sehingga mudah terjebak dalam optimum lokal (Kao *et al.* 2012).

Untuk mengatasi hal tersebut Kao *et al.* (2012) melakukan hibridisasi algoritma ACS dengan algoritma metaheuristik lainnya yaitu *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan menghasilkan solusi yang lebih baik serta konvergensi yang cepat. Di samping itu, Goel dan Maini (2018) juga memperkenalkan algoritma *Hybrid of Ant Colony and Firefly Algorithms* (HAFA) untuk menyelesaikan VRP. Algoritma HAFA merupakan hibridisasi dua algoritma metaheuristik yakni *Ant Colony System* dan *Firefly Algorithm*. *Firefly Algorithm* (FA) merupakan algoritma yang diperkenalkan oleh Yang (2010) dengan mengadopsi perilaku berkedip kunang-kunang. FA merupakan optimasi yang bersifat multimodal sehingga menyediakan ruang solusi yang lebih beranekaragam di mana hal ini dapat melengkapi kelemahan algoritma *Ant Colony System* yang mudah terjebak dalam solusi optimum lokal. Penelitian Goel dan Maini (2018) terkait HAFA menghasilkan solusi optimal yang lebih baik dibandingkan penyelesaian dengan ACS tanpa hibridisasi.

Osaba *et al.* (2016) memperkenalkan modifikasi *Firefly Algorithm* (FA) yang dinamakan *Discrete Firefly Algorithm*. Modifikasi ini dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan komputasi kompleks seperti *Vehicle Routing Problem* (VRP). Berdasarkan uraian diatas, penulis tertarik untuk melakukan penerapan algoritma *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) terhadap permasalahan *Capacitated Vehicle Routing*.

2. Metode

2.1. Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang diambil dari UD. Citra Jaya yang merupakan salah satu distributor beras di Kecamatan Sumberbaru Kabupaten Jember. Data yang digunakan meliputi jumlah pelanggan yang berada dalam wilayah Jawa Timur, jarak dari depot ke pelanggan dan antar pelanggan, banyak permintaan pelanggan, serta jumlah kendaraan yang digunakan beserta kapasitasnya. Data pelanggan beserta jumlah permintaan masing-masing disajikan dalam Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nama pelanggan dan jumlah permintaan

No.	Nama Toko	Permintaan (kg)	No.	Nama Toko	Permintaan (kg)
1	Toko Aini Jaya	10	16	Toko Pasar Senen	10
2	Toko Hamid	15	17	Toko Roni	80
3	Toko Rejeki	20	18	Toko Baru H. Agus	120
4	Toko H. Ahmadi	25	19	Toko Timur Jaya	160
5	Toko Abdul Halim	20	20	Toko H. Pardi	80
6	Toko Waro	15	21	Toko Pang 3	10
7	Toko Bu Azis	20	22	Toko Pokok Napak	130
8	Toko Yanto	50	23	Toko Jamal	80
9	Toko Sulaiman	15	24	Toko Wasito	80
10	Toko Niaga Jaya	80	25	Toko Bu Sana/Sara	40
11	Toko Yuli	30	26	Toko H. Asis	60
12	Toko Pak Samsul	40	27	Toko H. Yakin	30
13	Toko Pak Sipul	10	28	Toko P. Mulasan	80
14	Toko Bu Bahri	40	29	Toko Hasan	40

15	Toko Junaidi	20	30	Toko Slamet	40
----	--------------	----	----	-------------	----

Selain data yang disajikan pada Tabel 1 diatas, data lain yang turut digunakan yakni jumlah kendaraan yang digunakan sebanyak 5 buah dengan kapasitas maksimum tiap kendaraan sebesar 320 kilogram (kg).

2.2. Langkah-Langkah Penyelesaian

Berdasarkan algoritma HAFA (Goel dan Maini, 2018) dan *Discrete Firefly Algorithm* (Osaba et al. 2017) maka langkah-langkah yang akan dilakukan dalam menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) dengan algoritma *Hybrid Ant Colony System and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) adalah sebagai berikut:

2.2.1. Inisialisasi Parameter

Parameter awal yang digunakan pada algoritma *Hybrid Ant Colony System and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) dalam menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) adalah sebagai berikut.

m = Jumlah semut

q_0 = Bilangan *random* semut

a = Pengontrol bobot relatif

b = Pengendali jarak

τ_0 = Tetapan feromon awal

2.2.2. Menghitung Nilai Invers Jarak

Invers jarak antar depot ke pelanggan dan antar pelanggan ditentukan oleh persamaan $\eta_{iu} = 1/D_{iu}$, dengan D_{iu} adalah nilai jarak dari pelanggan i ke u .

2.2.3. Menghitung Probabilitas Pelanggan

Untuk setiap semut, menghitung probabilitas terpilihnya pelanggan selanjutnya berdasarkan persamaan:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^a \eta_{ij}^b}{\sum_{u \in J_{k(i)}} \tau_{iu}^a \eta_{iu}^b} & , \text{ untuk semua } j \in J_{k(i)} \\ 0 & , \text{ yang lainnya} \end{cases} \quad (1)$$

P_{ij}^k menunjukkan probabilitas semut ke- k untuk berpindah ke titik j selanjutnya dari titik i saat ini. τ_{iu} adalah jumlah *pheromone* pada titik (i,u) , η_{iu} adalah fungsi heuristik, serta $J_{k(i)}$ adalah himpunan yang berisi titik yang akan dikunjungi oleh semut.

2.2.3 Menghitung Fungsi Transisi

Pemilihan pelanggan selanjutnya yang terpilih dilakukan dengan menggunakan fungsi transisi berikut:

$$j = \begin{cases} \operatorname{argmax}_{u \in J_{k(i)}} \{\tau_{iu}^a \eta_{iu}^b\} & , \text{ jika } q \leq q_0 \text{ (eksploitasi)} \\ J & , \text{ lainnya (eksplorasi)} \end{cases} \quad (2)$$

Semut yang ditempatkan pada titik i memilih untuk menuju ke titik j dengan menerapkan aturan yang ditunjukkan oleh fungsi transisi diatas. J adalah variabel acak yang dipilih berdasarkan distribusi probabilitas pada Persamaan (1).

2.2.4. Melakukan Pengecekan Kendala Kapasitas

Apabila kapasitas belum penuh semut akan kembali ke depot dan membentuk rute baru. Namun, apabila kapasitas kendaraan terpenuhi maka langkah selanjutnya populasi semut akan terbentuk menjadi populasi awal *firefly*.

2.2.5. Menetapkan Parameter *Discrete Firefly Algorithms*

Selanjutnya, akan ditetapkan nilai parameter $\gamma = 0,95$ sesuai literatur Osaba *et al.* (2016) . γ merupakan nilai koefisien penerapan cahaya.

2.2.6. Menentukan Intensitas Firefly

Intensitas cahaya *firefly* dipengaruhi oleh fungsi tujuan permasalahan. Tingkat intensitas cahaya pada masalah optimasi minimum untuk tiap *firefly* x dapat dilihat sebagai:

$$I(x) = \frac{1}{f(x)} \quad (3)$$

Nilai $I(x)$ merupakan tingkat intensitas cahaya *firefly* x dan berbanding terbalik dengan fungsi tujuan yang dicari $f(x)$.

2.2.7. Menghitung Jarak Antar Firefly

Pada *Discrete Firefly Algorithm* jarak antara dua *firefly* yang berbeda diwakili oleh *Hamming Distance* (jarak *hamming*). *Hamming Distance* antara dua *firefly* adalah jumlah elemen yang tidak sesuai dalam permasalahan optimasi, perbandingan dibuat dengan klaster demi klaster. Berikut adalah salah satu contoh penerapan *Hamming Distance* dengan mengambil *firefly* secara acak, dan satu klaster acak c disusun atas 8 node (simpul):

x_1 (klaster- c) : {0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7},

x_2 (klaster- c) : {0, 1, 3, 2, 5, 4, 6, 7},

Hamming distance antara x_1 dan x_2 untuk klaster- k akan menjadi 4. Perbandingan seperti ini dibuat untuk setiap klaster. Menggunakan cara ini, jarak total antara *firefly* kunang-kunang i dan j adalah jumlah semua jarak untuk setiap klaster.

2.2.8. Melakukan Insertion Function Pada Tiap Firefly

Pergerakan *firefly* i menuju *firefly* j yang lebih terang ditentukan oleh persamaan:

$$n = \text{Random}(2, r_{ij} \cdot \gamma^g) \quad (4)$$

$$x_i = \text{InsertionFunction}(x_i, n) \quad (5)$$

r_{ij} merupakan *Hamming Distance* antara *firefly* i dan j , serta g menunjukkan angka iterasi. Nilai n nantinya akan didapatkan secara acak dengan rentang 2 sampai $r_{ij} \cdot \gamma^g$.

2.2.9 Mengevaluasi Firefly Terbaik

Firefly terbaik akan dievaluasi setelah melalui proses *insertion*. Selanjutnya *firefly* akan diurutkan dari *firefly* dengan solusi terburuk hingga terbaik.

2.2.10. Mengatur Nilai G_{best}

Nilai fungsi tujuan *firefly* terkecil akan ditetapkan sebagai solusi terbaik dan menetapkan nilai tersebut sebagai $best_{ant}$. Sehingga didapat nilai $G_{best} = best_{ant}(len)$.

2.2.11. Melakukan Pembaharuan Feromon Global

Seiring dengan terjadinya penguapan, perlu dilakukan pembaharuan konsentrasi feromon τ'_{ij} pada simpul $(i - j)$.

$$\tau'_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k + \Delta\tau_{ij}^{G_{best}} \quad (6)$$

ρ adalah koefisien penguapan feromon. $\Delta\tau_{ij}^k = \frac{Q}{G_k}$ adalah perubahan feromon pada simpul $(i - j)$ oleh semut k , dengan Q konstan dan G_k adalah jumlah panjang rute semut k . Penambahan perubahan feromon pada rute terbaik (G_{best}) dan dihitung menggunakan Persamaan berikut.

$$\Delta\tau_{ij}^{G_{best}} = \xi * \frac{Q}{G_{best}} \quad (7)$$

dimana ξ adalah jumlah semut yang mengikuti rute G_{best} .

3. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menggunakan software MATLAB 2015 untuk membuat program algoritma *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) dalam menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem*. Parameter yang digunakan untuk menguji algoritma ini yakni:

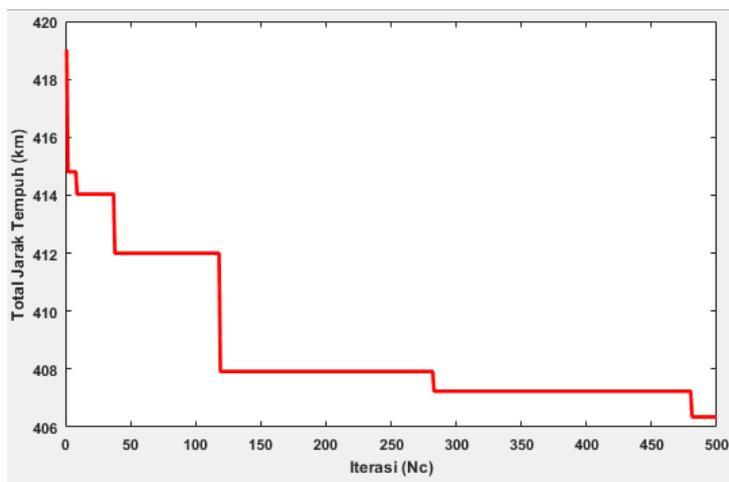
- Jumlah semut (m) = 100
- Bilangan *random* semut (q_0) = 0,5
- Pengontrol bobot relatif (a) = 1
- Pengendali jarak (b) = 3
- Tetapan feromon awal (τ_0) = 0,1
- Penguapan feromon global (ρ) = 0,1
- Nilai konstan (Q) = 5

Algoritma tersebut diterapkan pada permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* terkait kasus pendistribusian beras di UD. Citra Jaya dengan mengambil 30 titik meliputi titik depot dan pelanggan. Jumlah kendaraan yang digunakan pada pendistribusian ini berjumlah 5 dengan kapasitas masing-masing sebesar 320 kilogram (kg). Hasil pengujian dari parameter diatas terhadap 30 titik pelanggan UD. Citra Jaya dapat dilihat seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil uji parameter

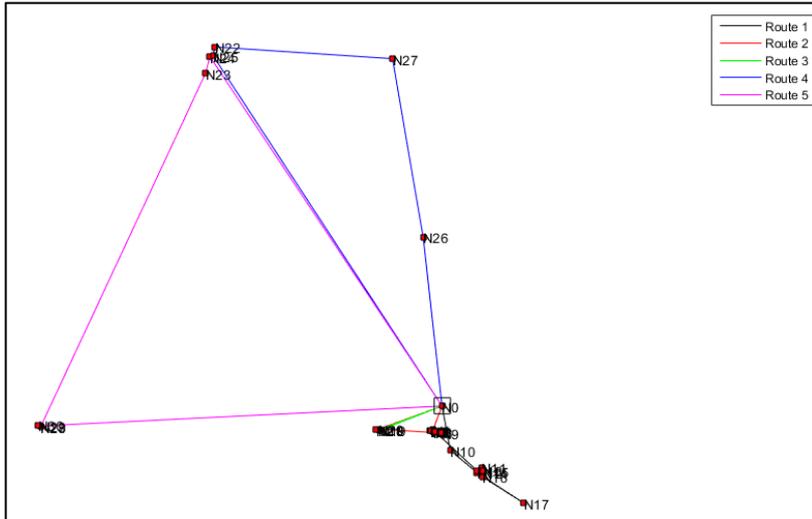
Percobaan ke-	Total jarak (km)	Jumlah kendaraan	Iterasi konvergen	Running time(s)
1	407,680	5	5	208,1933
2	408,768	5	319	205,3225
3	408,548	5	417	206,2965
4	407,628	5	324	218,7052
5	408,098	5	126	334,6542
6	407,548	5	76	205,3269
7	407,818	5	428	247,0675
8	406,348	5	481	229,4678
9	407,998	5	299	203,4098
10	408,468	5	483	280,0592

Berdasarkan Tabel 2 diatas dengan melakukan running sebanyak 10 kali, didapatkan total jarak tempuh terpendek pada running ke-8 dengan nilai 406,348 km. Grafik kekonvergenan yang menggambarkan hal tersebut disajikan dalam Gambar 1 dibawah ini dengan hasil konvergen pada iterasi ke-481 serta running time sebesar 229,4678 *second*.



Gambar 1. Hasil running pengujian parameter dengan total jarak tempuh minimum

Rute jalur terbaik yang dihasilkan pada pengujian ini disajikan dalam Gambar 2 berikut.



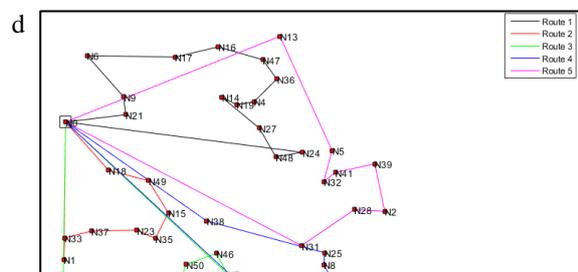
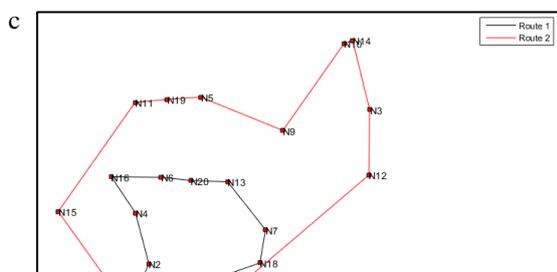
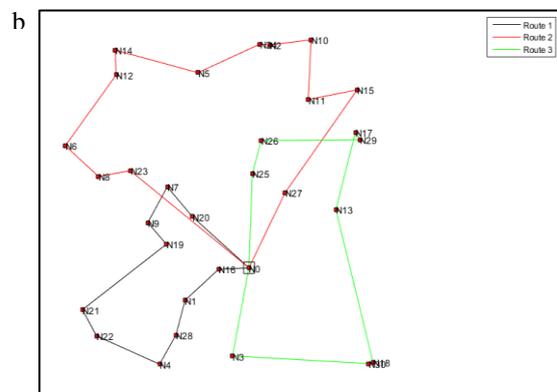
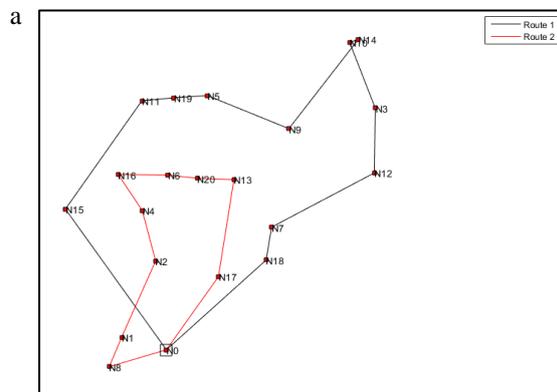
Gambar 2. Hasil rute *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms (HADFA)* pada *running* ke-8

Berdasarkan Gambar 2 diatas, rute terbaik yang dihasilkan pada pengujian parameter kali ini yakni:

- Rute 1 : 0 – 10 – 12 – 17 – 16 – 15 – 14 – 11 – 13 – 1 – 0
Total jarak tempuh rute 1 sebesar 32,96 km.
- Rute 2 : 0 – 2 – 5 – 7 – 8 – 4 – 3 – 6 – 9 – 20 – 21 – 0
Total jarak tempuh rute 1 sebesar 23,718 km.
- Rute 3 : 0 – 1 – 18 – 19 – 0
Total jarak tempuh rute 1 sebesar 21,57 km.
- Rute 4 : 0 – 26 – 27 – 22 – 25 – 0
Total jarak tempuh rute 1 sebesar 150,15 km
- Rute 5 : 0 – 24 – 23 – 28 – 30 – 29 – 0
Total jarak tempuh rute 1 sebesar 177,95 km

Sehingga total jarak tempuh keseluruhan rute yang dihasilkan oleh pengujian parameter adalah sebesar 406,348 km.

Pengujian lain juga dilakukan pada data simulasi *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* menggunakan titik-titik yang diambil secara *random*. Data simulasi ini terdiri dari 20 titik, 30 titik, 40 titik, dan 50 titik *random*. Kapasitas kendaraan yang digunakan sebesar 300 kilogram (kg). Pengujian ini dilakukan menggunakan parameter terpilih sebelumnya pada penerapan *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms (HADFA)* terhadap masalah pendistribusian beras UD. Citra Jaya. Rute terbaik yang dihasilkan dari pengujian 4 data titik *random* tersebut disajikan dalam Gambar 3 berikut ini.



Gambar 3. (a) rute terbaik pengujian 20 titik *random*; (b) rute terbaik pengujian 30 titik *random*; (c) rute terbaik pengujian 40 titik *random*; (d) rute terbaik pengujian 50 titik *random*

Berdasarkan hasil rute *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) pada pengujian 4 data simulasi yang memuat 20, 30, 40, serta 50 titik *random* didapatkan bahwa rute terpilih masih ada yang berpotongan satu sama lain. Hal ini berarti bahwa penerapan algoritma *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) pada *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) masih mendekati nilai optimal.

Berikut adalah tabel perbandingan untuk mengetahui keoptimalan algoritma *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) pada *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP).

Tabel 3. Total jarak tempuh minimum pada pengujian tiap algoritma

Data pengujian	HADFA	CIH	CIHw Sweep Clustering
Data <i>random</i> simulasi 1	93,36	95	91,89
Data <i>random</i> simulasi 2	138,42	154,55	150,6
Data <i>random</i> simulasi 3	175,5	201,89	195,23
Data <i>random</i> simulasi 4	243,27	251,11	249,42
Data pelanggan UD. Citra Jaya	406,348	419,09	424,978

Berdasarkan tabel diatas didapatkan bahwa algoritma *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) pada *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) menghasilkan total jarak tempuh minimum yang lebih baik dibandingkan algoritma heuristik *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) maupun *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) with *Sweep Clustering*. Namun, dengan adanya rute terpilih yang masih berpotongan dapat dikatakan bahwa solusi algoritma HADFA ini masih mendekati nilai optimal.

4. Simpulan

Dalam beberapa tahun terakhir, banyak algoritma heuristik maupun metaheuristik telah diterapkan pada permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). Dalam penelitian ini, salah satu algoritma *hybrid* baru dari algoritma *Ant Colony* dan *Discrete Firefly Algorithm* yang disebut dengan *Hybrid of Ant Colony and Discrete Firefly Algorithms* (HADFA) diterapkan. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa algoritma HADFA mampu menghasilkan solusi yang baik. Selain itu, algoritma HADFA juga sangat kompetitif dibandingkan dengan algoritma heuristik *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) maupun *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) with *Sweep Clustering*.

Daftar Pustaka

Dorigo, M., & Gambardella, L. (1997). Ant Colony System: A cooperative learning approach to the travelling salesman problem. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 1(1), 53-66.

- Goel, R., & R. Maini. (2018). A hybrid of ant colony and firefly algorithms (HAFA) for solving vehicle routing problems. *Journal of Computational Science*, 25, 28-37.
- Kao, Y., M. Chen, dan Y. Huang. (2012). A hybrid algorithm based on ACO and PSO for capacitated vehicle routing problems. *Mathematical Problems in Engineering*, 2012.
- Madi, M., D. Markovi, dan M. Radovanovi. (2013). Comparison of Meta-Heuristic Algorithms for Solving Machining Optimization Problems. *Facta Universitatis*, 11(1), 29-44.
- Osaba, E., X.S. Yang., F. Diaz., E. Onieva., A.D. Masegosa. dan A. Perallos. (2017). A discrete firefly algorithm to solve a rich vehicle routing problem modelling a newspaper distribution system with recycling policy. *Soft Computing*, 21(18), 5295-5308.
- Toth, P. dan D. Vigo. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Yang, X. S. (2010). *Nature-Inspire Metaheuristics Algorithm* Second Edition. *Advances in Exploration Geophysics*. 4 (C), 125-158.