

PENERAPAN ALGORITMA *STUDENT PSYCHOLOGY BASED OPTIMIZATION* (SPBO) PADA *OPEN VEHICLE ROUTING PROBLEM* (OVRP)

Annisa Nur Fariha Hasanah

Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

Email: annisa.nur.fariha-2018@fst.unair.ac.id

Herry Suprajitno

Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

Email: herry-s@fst.unair.ac.id

Edi Winarko

Departemen Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia

Email korespondensi: edi_winarko@fst.unair.ac.id

Abstrak

Masalah penentuan rute terbuka pada kendaraan atau *Open Vehicle Routing Problem* (OVRP) merupakan permasalahan pencarian rute terbuka pada sejumlah kendaraan yang akan melayani sejumlah pelanggan dengan membawa produk dengan kapasitas tertentu. Rute kendaraan dimulai dari depot dan berakhir di pelanggan terakhir. OVRP biasa terjadi pada perusahaan yang akan mendistribusikan produknya namun tidak memiliki kendaraan yang memadai sehingga harus menyewa kendaraan. Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan OVRP dengan menerapkan algoritma *Student Psychology Based Optimization* (SPBO). SPBO adalah salah satu algoritma yang terinspirasi dari psikologi murid yang berusaha memberikan usaha terbaik untuk meningkatkan performa mereka dalam ujian agar menjadi murid terbaik di kelas. Program penerapan algoritma SPBO pada OVRP dibuat menggunakan bahasa C++ yang diimplementasikan pada tiga data, yaitu data kecil (18 pelanggan), data sedang (75 pelanggan), dan data besar (100 pelanggan). Berdasarkan hasil komputasi, dapat disimpulkan bahwa algoritma SPBO dapat digunakan untuk menyelesaikan OVRP dengan semakin banyak iterasi yang digunakan maka dapat diperoleh hasil yang semakin baik. Sementara untuk parameter lainnya, semakin besar jumlah murid dan jumlah mata pelajaran yang digunakan akan cenderung mempengaruhi hasil menjadi lebih baik.

Kata kunci: Algoritma *Student Psychology Based Optimization* (SPBO), *Vehicle Routing Problem* (VRP), *Open Vehicle Routing Problem* (OVRP)

PENDAHULUAN

Perusahaan logistic dalam proses distribusi barangnya, umumnya menggunakan kendaraan yang memiliki kapasitas dan ukuran yang sama dalam melayani pelanggan yang tersebar di berbagai lokasi. Lokasi pelanggan yang terletak tersebar tersebut menyebabkan setiap kendaraan harus memiliki rute perjalanannya. Dalam proses pendistribusian, permintaan total pelanggan pada suatu rute yang sama tidak diperbolehkan melebihi kapasitas kendaraan pengangkut. Penentuan rute dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan pengangkut serta bertujuan untuk meminimalkan jarak tempuh dari kendaraan tersebut disebut dengan *Vehicle Routing Problem* (VRP) [1].

Permasalahan lain muncul ketika perusahaan tidak memiliki kendaraan atau memiliki kendaraan tetapi kapasitasnya tidak cukup untuk memenuhi permintaan pelanggan sehingga perusahaan harus menyewa kendaraan untuk proses distribusi. Kendaraan sewa akan mengawali rute dari depot, kemudian mengunjungi setiap pelanggan hingga pelanggan terakhir dan tidak kembali ke depot. Permasalahan tersebut merupakan permasalahan *Open VRP* (OVRP), yaitu VRP dengan rute terbuka[2]. Adapun contoh bidang penerapan OVRP adalah tentang perencanaan rute bus sekolah. Pada pagi hari bus menjemput murid di berbagai lokasi lalu mengantar para murid ke sekolah, kemudian pada sore hari, rute perjalanan bus dibalik untuk mengantarkan pulang para murid[3].

Permasalahan OVRP pertama kali diperkenalkan oleh Sariklis dan Powell pada tahun 2000 dalam penelitiannya tentang masalah manajemen distribusi. Sejak tahun 2000, beberapa peneliti telah menggunakan berbagai algoritma heuristik untuk memecahkan OVRP antara lain Tabu Search [3,4], Variable Neighborhood Search [5], Particle Swarm Optimization [2] dan Genetic Algorithm[6].

Algoritma optimasi sebagian besar terinspirasi dari fenomena alam atau hewan, hanya sedikit algoritma yang mengadopsi dari perilaku manusia, salah satunya adalah Student Psychology Based Optimization Algorithm (SPBO). Algoritma ini terinspirasi dari psikologi murid yang berusaha memberikan usaha terbaik untuk meningkatkan performa mereka dalam ujian agar menjadi murid terbaik di kelas. Kategori murid berdasarkan usaha dalam meningkatkan performa dalam SPBO terbagi menjadi empat yaitu murid terbaik, murid cakap, murid rata-rata, dan murid yang berusaha secara acak [7].

Algoritma SPBO telah terbukti dapat bekerja lebih baik untuk menemukan solusi optimal dengan waktu yang relatif cepat dibanding algoritma lain seperti Particle Swarm Optimization (PSO), Cuckoo Search Optimization Algorithm (CSA), dan Teaching Learning Based Optimization (TLBO) [7]. Dalam algoritma optimasi pemilihan parameter yang tepat sangat penting untuk menemukan solusi optimal. Perubahan dalam parameter algoritma mempengaruhi efektifitas algoritma. Selain ukuran populasi sebagai parameter kontrol umum, algoritma pengoptimalan pada umumnya memiliki parameter kontrol spesifik [8]. Keunggulan algoritma SPBO yaitu tidak memerlukan parameter kontrol spesifik tetapi hanya memerlukan ukuran populasi sebagai parameter kontrol umum. Ukuran populasi yang diperlukan SPBO juga lebih sedikit dibandingkan algoritma di atas dalam mencapai solusi optimal [7]. Algoritma SPBO ini telah diterapkan pada beberapa permasalahan, di antaranya Permutation Flowshop Scheduling Problem [9], Optimal Allocation of Photo-Voltaic Units in Radial Distribution Networks [10], dan Optimal Control of Integrated Hybrid Power System with FACTS Devices [11].

Berdasarkan uraian di atas, sangat menarik untuk membahas penerapan Algoritma Student

Psychology Based Optimization (SPBO) pada Open Vehicle Routing Problem (OVRP).

VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP)

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan permasalahan penentuan rute kendaraan yang memiliki kapasitas angkut tertentu untuk melayani sejumlah pelanggan yang memiliki permintaan tertentu. Permasalahan ini bertujuan untuk meminimalkan biaya (baik rute terpendek maupun jumlah kendaraan minimal). Pada setiap rute yang terbentuk, kendaraan harus memulai dan mengakhiri perjalanan di depot. Setiap pelanggan dikunjungi tepat sekali dan hanya oleh satu kendaraan, serta setiap kendaraan memiliki kapasitas yang terbatas[12].

OPEN VEHICLE ROUTING PROBLEM (OVRP)

Open Vehicle Routing Problem (OVRP) merupakan perluasan dari VRP. Perbedaan antara OVRP dengan VRP yaitu kendaraan pada OVRP tidak perlu kembali ke depot, atau kendaraan akan kembali ke depot dengan mengunjungi kembali pelanggan yang telah ditugaskan pada rute dengan urutan terbalik [13].

Tujuan OVRP pada penelitian ini adalah meminimalkan biaya sewa kendaraan serta biaya perjalanan kendaraan berdasarkan jarak tempuhnya dengan memperhatikan tiga kendala utama antara lain setiap rute berasal dari depot dan berakhir di salah satu pelanggan, masing-masing pelanggan dikunjungi tepat sekali dan hanya oleh satu kendaraan serta permintaannya terpenuhi, dan pelanggan yang dikunjungi di setiap rute memiliki total permintaan kurang dari atau sama dengan kapasitas kendaraan yang ditetapkan untuk melayani rute [3].

Model matematika OVRP dapat

Meminimumkan f ,

$$f = \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n c_{ij} x_{ij}^k + \sum_{k=1}^K w_k z_k \quad (2.1)$$

dirumuskan sebagai berikut [2].

Dengan

variabel keputusan sebagai berikut.

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{jika pelanggan } i \text{ dilayani sebelum} \\ & \text{pelanggan } j \text{ menggunakan kendaraan } k \\ 0, & \text{jika tidak demikian} \end{cases}$$

dan

$$z_k = \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ digunakan (aktif)} \\ 0, & \text{jika tidak demikian} \end{cases}$$

Sedangkan kendala-kendalanya sebagai berikut.

1. Setiap pelanggan dikunjungi tepat sekali oleh satu kendaraan pengangkut.
2. Setiap pelanggan dilayani oleh kendaraan aktif.

$$\begin{aligned} x_{ij}^k &\leq z_k, \forall k = 1, 2, \dots, K, \\ \forall i &= 0, 1, 2, \dots, n, \forall j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2.4)$$

3. Setiap kendaraan pengangkut yang mengunjungi suatu pelanggan setelah selesai melayani akan meninggalkan pelanggan tersebut.

$$\sum_{i=0}^n x_{iu}^k - \sum_{j=i}^n x_{uj}^k = 0, \forall k = 1, 2, \dots, K, \quad (2.5)$$

$$\forall u = 1, 2, \dots, n$$

4. Memastikan bahwa semua rute telah lengkap.

$$\sum_{(i,j) \in S \times S} x_{ij}^k \leq |S| - 1, \quad (2.6)$$

$$\forall S \subseteq V: 1 \leq |S| \leq n, \forall k$$

5. Total permintaan dari setiap pelanggan dalam rute yang dilalui setiap kendaraan pengangkut tidak boleh melebihi kapasitas.

$$\sum_{j=1}^n q_j \left(\sum_{i=0}^n x_{ij}^k \right) \leq Q, \quad (2.7)$$

$$\forall k = 1, 2, \dots, K$$

6. Hanya ada satu kendaraan yang akan berangkat dari depot untuk melayani suatu rute urutan pelanggan.

$$\sum_{j=1}^n x_{0j}^k \leq 1, \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (2.8)$$

7. Setiap kendaraan pengangkut tidak ada yang kembali ke depot setelah melayani pelanggan terakhir dalam suatu rute.

$$\sum_{i=1}^n x_{i0}^k = 0, \forall k = 1, 2, \dots, K \quad (2.9)$$

8. Mendefinisikan variabel x untuk setiap kendaraan k .

$$\begin{aligned} x_{ij}^k &\in \{0,1\}, \forall k = 1, 2, \dots, K, \\ \forall i &= 0, 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (2.10)$$

9. Mendefinisikan variabel z untuk setiap kendaraan k .

$$(2.11)$$

$$z_k \in \{0,1\}, \forall k = 1, 2, \dots, K$$

Keterangan:

c_{ij} = Biaya perjalanan dari pelanggan i ke pelanggan j

x_{ij}^k = Kendaraan k melayani pelanggan j setelah pelanggan i

w_k = Biaya sewa kendaraan k

q_j = Permintaan dari pelanggan j

K = Jumlah kendaraan

Q = Kapasitas maksimum setiap kendaraan

V = Himpunan pelanggan dan depot

S = Sub himpunan dari himpunan pelanggan

$|S|$ = Kardinalitas dari himpunan S

n = Jumlah pelanggan

i, j, u, k = Indeks pelanggan

ALGORITMA STUDENT PSYCHOLOGY BASED OPTIMIZATION (SPBO)

Algoritma Student Psychology Based Optimization (SPBO) merupakan algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari psikologi murid yang berusaha untuk mendapatkan nilai tertinggi dan mencoba menjadi murid terbaik dengan cara meningkatkan kinerja mereka dalam ujian. Akan tetapi, upaya yang diberikan setiap murid pada mata pelajaran tergantung pada kemampuan murid serta minat murid pada mata pelajaran yang diikuti. Oleh karena itu, dapat dicatat bahwa peningkatan performa setiap murid dalam ujian tidaklah sama, upaya yang diberikan murid juga bergantung pada psikologi murid. Berdasarkan psikologi tersebut setiap murid akan berusaha untuk meningkatkan performanya serta berusaha memperoleh nilai yang baik agar menjadi murid terbaik di kelas [7].

Murid di kelas dibagi menjadi empat kategori berdasarkan performa mereka. Kinerja SPBO bergantung pada kinerja keempat kategori tersebut.

1) Murid Terbaik

Murid terbaik merupakan (2.1) murid yang mendapatkan nilai/performa tertinggi pada semua ujian di setiap mata pelajaran di kelasnya. Untuk memperoleh nilai tertinggi dan mempertahankan posisinya, murid terbaik perlu memberikan upaya lebih daripada upaya murid-murid lainnya dalam (2.2) setiap mata pelajaran.

2) Murid Cakap

Murid cakap merupakan murid yang tertarik pada suatu mata pelajaran kemudian mencoba memberi upaya pada mata pelajaran tersebut, sehingga secara keseluruhan performa murid tersebut akan meningkat. Kategori murid cakap terbagi menjadi dua sub kategori, yaitu murid cakap yang memberikan usaha serupa maupun lebih baik dari murid terbaik, dan murid cakap yang memberikan usaha lebih baik dari murid rata-rata.

3) Murid Rata-rata

Murid rata-rata merupakan murid yang memberikan upaya rata-rata pada mata pelajaran yang kurang diminati dan memberikan upaya lebih untuk mata pelajaran yang diminati, sehingga secara keseluruhan nilai murid tersebut meningkat.

4) Murid yang Berusaha Secara Acak

Murid yang berusaha secara acak merupakan murid yang memberikan upaya pada mata pelajaran secara acak sehingga nilai ujian secara keseluruhan meningkat.

Pemilihan kategori murid selain murid terbaik dianggap sebagai proses acak. Hal tersebut disebabkan karena psikologi murid dalam menentukan minatnya pada mata pelajaran tertentu berbeda antara murid satu dengan murid lainnya. Sementara murid terbaik diperoleh apabila suatu populasi memiliki nilai fungsi tujuan terbaik.

SPBO bekerja pada suatu populasi awal yang dianalogikan sebagai sekelompok murid dalam suatu kelas. Murid berusaha memberikan upaya terbaik pada mata pelajaran yang ditawarkan kepada mereka untuk meningkatkan performa secara keseluruhan dalam ujian. Nilai keseluruhan yang diperoleh seorang murid disebut sebagai nilai fungsi tujuan. Upaya yang diberikan murid akan diapresiasi jika performa murid secara keseluruhan dalam ujian meningkat. Dengan kata lain, jika nilai fungsi tujuan hasil pembaruan performa lebih baik dari sebelumnya maka hasil pembaruan tersebut diterima [7].

PENYELESAIAN OVRP MENGGUNAKAN ALGORITMA SPBO

Langkah-langkah dalam menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Menginputkan data yang berkaitan dengan OVRP yaitu banyaknya pelanggan (n), posisi depot (X,Y), posisi pelanggan (X,Y), jumlah permintaan pengiriman barang, kapasitas maksimum kendaraan, biaya perjalanan, dan biaya sewa kendaraan.
- b. Menentukan parameter Algoritma SPBO yaitu maksimal iterasi (maksiterasi), banyaknya mata pelajaran (α), dan banyaknya murid (n_{pop}).
- c. Membangkitkan performa awal murid dengan membangkitkan bilangan real pada interval (0,1) secara acak sebanyak n ujian untuk masing-masing murid yang dinotasikan dengan (x_{ij}).
- d. Mengevaluasi performa awal murid.
 - i) Mengurutkan performa setiap murid dari terendah hingga terbesar dengan cara sebagai berikut.
Ujian diurutkan berdasarkan nilai performa setiap ujian dari terkecil hingga terbesar. Ujian dengan performa terendah menjadi urutan pertama, ujian dengan performa yang lebih tinggi menjadi urutan kedua, dan seterusnya hingga ujian yang memiliki performa tertinggi menjadi urutan terakhir. Urutan performa ujian setiap murid yang telah terbentuk selanjutnya dijadikan sebagai calon rute.
 - ii) Menentukan rute berdasarkan jumlah permintaan pengiriman barang dan kapasitas maksimum kendaraan.
 - iii) Menentukan jarak tempuh berdasarkan rute yang telah terbentuk.
 - iv) Menghitung total biaya berdasarkan rute dan jarak yang ditempuh. Total biaya selanjutnya disebut sebagai fungsi tujuan ($F(x_i)$).
- e. Menentukan murid terbaik (x_{best}) sementara dari semua murid.
- f. Memberi inisialisasi awal iterasi = 1.
- g. Memberi inisialisasi awal $\alpha = 1$.
- h. Memperbarui performa murid dengan cara mengecek nilai x_i . Jika x_i merupakan x_{best} maka murid diperbarui menggunakan kategori murid terbaik dengan persamaan iii) berikut.
$$x_{best\bar{baru}} = x_{best} + (-1)^k \times rand \times (x_{best} - x_j)$$
Jika tidak, maka lanjut ke langkah i.
- i. Menentukan kategori murid selain x_{best} dengan membangkitkan $rand1$ yang merupakan

bilangan real pada interval (0,1) secara acak sebanyak $n_{pop} - 1$.

- i) Jika $0,67 < rand1 \leq 1$ maka melakukan pembangkitan $rand2$ yang merupakan bilangan real pada interval (0,1) secara acak untuk menentukan sub kategori. Jika $0,5 < rand2 \leq 1$, maka murid i merupakan kategori murid cakap subkategori 1 dan performanya diperbarui menggunakan persamaan berikut.

$$x_{i_{baru}} = x_{best} + [rand \times (x_{best} - x_i)]$$

Sementara jika $0 < rand2 \leq 0,5$, murid i merupakan kategori murid cakap subkategori 2 dan performanya diperbarui menggunakan persamaan berikut.

- ii) Jika $0,33 < rand1 \leq 0,67$ maka murid i merupakan kategori murid rata-rata dan performanya diperbarui menggunakan persamaan berikut.

$$x_{i_{baru}} = x_i + [rand \times (x_{best} - x_i)] + [rand \times (x_i - x_{mean})]$$

Jika $0 < rand1 \leq 0,33$ maka murid i merupakan kategori murid yang

$$x_{i_{baru}} = x_i + [rand \times (x_{mean} - x_i)]$$

berusaha secara acak dan performanya diperbarui menggunakan persamaan berikut.

$$x_{i_{baru}} = x_{min} + [rand \times (x_{maks} - x_{min})]$$

- j. Mengevaluasi performa baru murid.
- k. Memperbarui nilai fungsi tujuan dengan membandingkan nilai fungsi tujuan lama dan baru. Jika nilai fungsi tujuan baru murid i kurang dari nilai fungsi tujuan lama murid i , maka nilai fungsi tujuan lama diganti dengan nilai fungsi tujuan baru murid i . Performa baru diterima.
- l. Menentukan x_{best} .
- m. Mengecek jumlah mata pelajaran saat ini. Jika $\alpha <$ banyaknya mata pelajaran, maka nilai α diubah menjadi $\alpha = \alpha + 1$ dan kembali ke langkah h. Sedangkan jika $\alpha =$ banyaknya mata pelajaran, maka lanjut ke langkah n.
- n. Mengecek banyaknya iterasi saat ini. Jika $iterasi < maksiterasi$, maka $iterasi$ diperbarui menjadi $iterasi = iterasi + 1$ dan kembali ke langkah g. Sedangkan jika $iterasi = maksiterasi$, maka proses perhitungan selesai dan lanjut ke langkah o.
- o. Menampilkan hasil solusi terbaik (x_{best}).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut disajikan hasil implementasi program pada contoh kasus OVRP dengan menggunakan data kecil (18 pelanggan), data sedang (75 pelanggan), dan data besar (100 pelanggan). Data tersebut terdiri atas data koordinat (X,Y), data permintaan dari depot dan masing-masing pelanggan, dan data kapasitas kendaraan [14], serta data biaya yakni biaya per satuan jarak sebesar €0,6 dan biaya sewa sebesar €15 per kendaraan [15]. Program dijalankan dengan nilai parameter maksimum iterasi, banyak murid, dan banyaknya mata pelajaran yang bervariasi serta masing-masing parameter dijalankan sebanyak 10 kali untuk mencari hasil yang terbaik. Adapun hasil terbaik dari 10 kali percobaan *running* program untuk ketiga data disajikan pada tabel berikut.

Tabel 1. Nilai Fungsi Tujuan Terbaik Penyelesaian Data Kecil

Maksimal Iterasi	Jumlah murid	Banyaknya Mata Pelajaran		
		1	5	10
10	10	203,306	169,87	156,488
	50	183,562	158,872	151,666
	100	167,721	151,686	146,808
100	10	165,123	144,59	143,626
	50	139,957	137,635	143,926
	100	139,55	133,89	141,186
1000	10	143,31	134,9	143,626
	50	139,954	124,436	137,552
	100	138,757	129,305	131,914

Maksimal Iterasi	Jumlah Murid	Banyaknya Mata Pelajaran		
		1	5	10
10	10	1835,19	1771,42	1652,94
	50	1749,6	1752,99	1629,99
	100	1764,54	1512,53	1571,45
100	10	1669,27	1426,12	1533,45
	50	1493,77	1433,61	1321,95
	100	1655,6	1279,96	1147,61
1000	10	1612,76	1264,14	1217,95
	50	1265,77	1205,03	1164,7
	100	1280,12	1192,55	901,957

Tabel 2. Nilai Fungsi Tujuan Terbaik Penyelesaian Data Sedang

Tabel 3. Nilai Fungsi Tujuan Terbaik Penyelesaian Data Besar

Berdasarkan tiga tabel di atas, diperoleh hasil berupa biaya terbaik untuk data kecil sebesar €124,436, untuk data sedang sebesar €644,044, dan untuk data besar sebesar €901,957. Selain itu, dari tiga tabel tersebut terlihat pola bahwa parameter yang digunakan mempengaruhi hasil *running* program. Semakin besar maksimal iterasi yang digunakan maka diperoleh hasil yang lebih baik. Sementara untuk parameter banyaknya murid dan banyaknya mata pelajaran yang digunakan, perubahan parameter tersebut berpotensi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik namun tidak secara konsisten.

KESIMPULAN

Open Vehicle Routing Problem (OVRP) merupakan permasalahan penentuan rute terbuka (kendaraan tidak kembali ke asal rute) yang optimal pada kendaraan yang berjumlah lebih dari satu dengan kapasitas tertentu untuk mengunjungi sejumlah pelanggan yang memiliki permintaan tertentu dan bertujuan untuk meminimalkan biaya. Algoritma *Student Psychology Based Optimization* (SPBO) yang terinspirasi dari perilaku manusia, yaitu psikologi murid yang berusaha menjadi murid terbaik di kelas, dapat digunakan untuk menyelesaikan OVRP. Berdasarkan hasil percobaan pada tiga jenis data didapatkan bahwa semakin besar maksimal iterasi yang digunakan maka diperoleh hasil yang lebih baik. Sementara untuk parameter banyaknya murid dan banyaknya mata pelajaran yang digunakan, perubahan parameter tersebut berpotensi untuk mendapatkan hasil yang lebih baik namun tidak secara konsisten.

REFERENSI

- [1] Toth, P., dan Vigo, D., 2002, *The Vehicle Routing Problem*, Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, USA
- [2] MirHassani, S.A., dan Abolghasemi, N., 2011, A Particle Swarm Optimization Algorithm for the Open Vehicle Routing Problem, *Journal of Expert Systems with Applications*, **38**: 11547-11551

- [3] Fu, Z., Eglese, R., dan Li, L.Y.O., 2005, A New Tabu Search Heuristic for the Open Vehicle Routing Problem, *The Journal of the Operational Research Society*, **56**: 267-274
- [4] Brandao, J., 2004, A Tabu Search Algorithm for the Open Vehicle Routing Problem, *Eur J Opl Res Soc*, **51**: 564-573
- [5] Fleszar, K., Osman, I. H., dan Hindi, K. S., 2009, A Variable Neighbourhood Search Algorithm for the Open Vehicle Routing Problem, *European Journal of Operational Research*, **195**: 803-809
- [6] Yu, S., Ding, C., dan Zhu, K., 2011, A Hybrid GA-TS Algorithm for Open Vehicle Routing Optimization of Coal Mines Material, *Expert Systems with Applications*, **38**: 10568-10573
- [7] Das, B., Mukherjee, B., dan Das, P., 2020, Student Psychology Based Optimization Algorithm: A New Population Based Optimization Algorithm for Solving Optimization Problems, *Advances in Engineering Software*, **146**. 102804
- [8] Rao, R, V., Savsani, V, J., dan Balic, J., 2012, Teaching Learning Based Optimization Algorithm for Unconstrained and Constrained Real Parameter Optimization Problem, *Engineering Optimization*, **44**:12, 14 47-1462
- [9] Pratiwi, A. B., dan Sasmito, A., 2021, Chaotic Student Psychology based Optimization Algorithm for Bi-Objective Permutation Flowshop Scheduling Problem, *International Journal of Intelligent Engineering & Systems*, **14**: 109-118
- [10] Dash, S. K., dan Mishra, S., 2021, Optimal Allocation of Photo-Voltaic Units in Radial Distribution Networks Using a New Student

Maksimal Iterasi	Jumlah Murid	Banyaknya Mata Pelajaran		
		1	5	10
10	10	1340,98	1271,95	1170,82
	50	1271,63	1209,89	1042,76
	100	1276,32	1162,55	1157,8
100	10	1251,48	921,81	904,209
	50	980,079	944,202	733,401
	100	1014,49	866,408	973,824
1000	10	941,754	813,147	807,099
	50	792,754	745,641	644,044
	100	874,312	739,683	768,429

Psychology Based Optimization Algorithm,

International Journal on Electrical Engineering and Informatics, **Vol. 13**: 318-335

- [11] Mudi, J., Shiva, C. K., dan Mukherjee, V., 2021, An Optimal Control of Integrated Hybrid Power System with FACTS Devices Using Student Psychology-Based Optimization Algorithm, *Advanced Theory and Simulations*, **4**
- [12] Belfiore, P., Tsugunobu, H., dan Yoshizaki, Y., 2008, Scatter Search for Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Deliveries, *Vehicle Routing Problem*, **1**: 1-14
- [13] Sariklis, D., dan Powell, S., 2000, A Heuristic Method for the Open Vehicle Routing Problem, *Journal of the Operational Research Society*, **51**, 564-573
- [14] Vehicle Routing Data Sets, <https://www.coin-or.org/SYMPHONY/branchandcut/VRP/data/index.htm.old>, 1 Januari 2022
- [15] Čičková, Z., Brezina, I., dan Pekár, J., 2015. Cost Analysis of Open VRP, *Logic 2nd Logistic International Conference*, 8-13