

PENERAPAN *BIDIRECTIONAL SEARCH* DAN *HELD-KARP* PADA PENENTUAN RUTE PENGIRIMAN PRODUK

I Gede Surya Rahayuda¹, Ni Putu Linda Santiari², Norsa Yudhi Arso³

¹Prodi Sistem Informasi, STMIK STIKOM Bali

²Prodi Sistem Informasi, STMIK STIKOM Bali

³Prodi Ilmu Komputer, Universitas Pendidikan Ganesha

Email: ¹surya_rahayuda@stikom-bali.ac.id, ²linda_santiari@stikom-bali.ac.id, ³norzayudhi@icloud.com

(Naskah masuk 26 Juni 2018, diterima untuk diterbitkan 29 Oktober 2018)

Abstrak

Bidirectional Search dan *Held-Karp* merupakan salah satu metode pencarian jalur terdekat atau sering disebut dengan metode *shortes path*. *Bidirectional Search* mencari jalur terdekat dengan melakukan pencarian dwi arah, proses pertama dimulai dari *level* awal *graph matrix* menuju *level* selanjutnya dan proses kedua dimulai dari *level* akhir menuju *level* sebelumnya. Proses tersebut akan menghasilkan rute awal dan rute akhir, kemudian kedua rute tersebut dirangkai menjadi rute gabungan. *Bidirectional Search* tidak memperhitungkan proses kembali dari tujuan akhir ke titik awal atau sesuai untuk *non circular path*. Tidak seperti pada metode *Bidirectional Search*, pada metode *Held-Karp* hanya dilakukan satu proses pencarian, dan pada metode *Held-Karp* proses pencarian sudah memperhitungkan mengenai jarak yang ditempuh sampai dengan kembali ke titik awal atau sesuai untuk *circular path*. Pada penelitian ini metode *Bidirectional Search* dan *Held-Karp* dikembangkan dalam bentuk program menggunakan bahasa pemrograman *visual basic*. Program tersebut diterapkan untuk menentukan jalur terbaik pada kasus pengiriman produk. *Bidirectional Search* juga akan dibandingkan dengan metode *Held-Karp*. Percobaan yang dilakukan pada beberapa data tes berupa paket pengiriman produk, didapatkan bahwa metode *Held-Karp* mendapatkan hasil lebih baik sekitar 5% dibandingkan dengan *Bidirectional Search*.

Kata kunci: *shortes path, Bidirectional Search, Held-Karp, graph matrix, visual basic*

IMPLEMENTATION OF *BIDIRECTIONAL SEARCH* AND *HELD-KARP* ON DETERMINING PRODUCT SHIPPING ROUTE

Abstract

Bidirectional Search and Held-Karp is one type of the shortes path methods. Bidirectional Search looks for the nearest path by doing a two way search, the first process starts from the initial level of the graph matrix to the next level and the second process starts from the end level to the previous level. The process will generate the initial route and the final route, then the two routes are assembled into a combined route. Bidirectional Search does not count the process of returning from the final destination to the starting point or appropriate for non circular paths. Unlike Bidirectional Search method, Held-Karp method only performs one way search process, and in the Held-Karp method the search process has calculated the distance traveled up to the return point or appropriate for circular paths. In this research, Bidirectional Search and Held-Karp method will be developed into desktop program using visual basic programming language. The program is implemented to determine the best path in case of product delivery. Bidirectional Search will also be compared to the Held-Karp method. Experiments performed on some tes data in the form of product delivery package, it is found that the Held-Karp method gets the average result of better delivery route about 5% compared to Bidirectional Search method.

Keywords: *shortes path, Bidirectional Search, Held-Karp, graph matrix, visual basic*

1. PENDAHULUAN

Pengiriman produk merupakan hal yang umum dilakukan pada setiap perusahaan. Pengiriman produk akan menjadi suatu masalah yang rumit bagi

perusahaan jika pesanan terhadap produk mulai meningkat atau dalam jumlah yang besar (Rahayuda and Santiari, 2018b). Bagian distribusi akan kesulitan untuk melakukan pengiriman produk, dan

cenderung salah dalam menentukan rute pengiriman dan dapat mengakibatkan kelebihan dalam pengeluaran biaya distribusi. Penulis ingin mengatasi permasalahan tersebut dengan cara membuat suatu program yang dapat menentukan rute pengiriman produk, sehingga didapatkan jarak terdekat atau rute pengiriman terbaik. Pada penelitian sebelumnya penulis sudah membuat suatu program desktop menggunakan bahasa pemrograman *visual basic*, dimana program tersebut telah berhasil menentukan rute pengiriman produk. Program dibuat menggunakan dua metode, yaitu metode *Iterative Deepening Search* dan metode *Held-Karp* (Rahayuda and Santiari, 2018b) (Moore, 2015). Dari hasil penelitian yang dilakukan, dalam beberapa pengiriman produk terdapat hasil yang sama dari kedua metode. Selisih perbedaan antara kedua metode adalah sebesar 19,66% (Rahayuda and Santiari, 2018a) (Kelvin, 2016). Pada penelitian saat ini, penulis ingin menambahkan metode lainnya. Metode yang akan digunakan adalah metode *Bidirectional Search*. Penambahan metode tersebut diharapkan akan dapat menambah ragam dari hasil penelitian dan dapat dibandingkan dengan penelitian sebelumnya. *Bidirectional Search* akan diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman *visual basic*. Diharapkan dengan penerapan metode tersebut akan mendapatkan hasil yang lebih baik dari metode sebelumnya. Selain penambahan metode penelitian, pada penelitian ini juga akan ditambahkan data set berupa tempat atau lokasi pengiriman produk. Data set ditambahkan agar didapatkan hasil penelitian yang lebih bervariasi. Dan dapat meningkatkan kualitas hasil penelitian.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 *Bidirectional Search*

Bidirectional Search atau pencarian dwi arah merupakan salah satu metode pencarian jalur yang menggunakan dua alur logika pencarian, yaitu pencarian *front to back* dan *back to front*. Pencarian dilakukan melalui dua arah, pencarian dari batas awal graph sampai akhir dan pencarian dari akhir graph menuju ke awal, pencarian akan berakhir ketika kedua pencarian tersebut bertemu ditengah graph (Chen et al., 2017) (Holte et al., 2017). Ira Pohl merupakan ilmuwan pertama yang mendesain dan mengembangkan metode tersebut pada tahun 1971, *Bidirectional Heuristic Search* merupakan versi pertama dari metode tersebut. Kemudian pada pengembangan selanjutnya Andrew Goldberg dan ilmuwan lainnya menjelaskan kondisi pengakhiran yang benar untuk versi metode *Bidirectional Search* pada algoritma *Dijkstra* (Sun, Lee and Batra, 2017).

2.2 *Held-Karp*

Metode *Held-Karp*, juga disebut metode Bellman *Held-Karp*, adalah metode pemrograman dinamis yang diusulkan pada tahun 1962 secara mandiri oleh Bellman dan Karp untuk memecahkan masalah perjalanan salesman: *Traveling Salesman Problem* (TSP). TSP merupakan perpanjangan dari masalah sirkuit *Hamiltonian* (Becker et al., 2017) (Chekuri, 2017). Masalahnya dapat digambarkan seperti menemukan tur kota N di suatu negara (dengan asumsi semua kota yang akan dikunjungi dapat dijangkau), tur harus mengunjungi setiap kota hanya sekali, tur harus kembali ke titik awal dan tur harus mendapatkan jarak minimum (An, Kleinberg and Shmoys, 2015). Secara umum, TSP diklasifikasikan sebagai masalah perjalanan yang simetris (sTSP), masalah salesman bepergian asimetris (aTSP), dan masalah salesman multi perjalanan (mTSP) (Rahayuda and Santiari, 2017). MTSP umumnya diperlakukan sebagai masalah routing kendaraan yang tenang atau tidak terlalu kredit (Moylett, Linden and Montanaro, 2016)

3. METODE PENELITIAN

Penulis melakukan observasi lapangan dan mengambil data melalui internet untuk menentukan beberapa data set berupa lokasi tempat pengiriman produk. Selain tempat lokasi pengiriman produk, penulis juga menentukan data jarak antar beberapa lokasi pengiriman produk menggunakan google map. Observasi dilakukan dengan mencatat alamat semua tempat tersebut. Jarak yang diukur adalah jarak antara toko yang satu ke toko lainnya. Titik yang digunakan adalah titik pada depan toko yang berdekatan dengan jalan, atau tempat perhentian mobil atau kendaraan yang digunakan untuk mengantarkan gas tersebut. Sebelumnya terdapat dua puluh buah data set berupa alamat dari toko, dimana alamat tersebut telah digunakan sebagai alamat tempat pengiriman produk, dan diukur jarak antar tiap alamat. Jika diukur jarak setiap toko dan antar toko, maka akan didapatkan sebanyak 800 data set yang digunakan. 800 data set tersebut telah digunakan pada penelitian sebelumnya. Alamat toko tersebut berada didaerah Denpasar dan Badung (Chentsov, Khachay and Khachay, 2016). Pada penelitian saat ini akan ditambahkan sebanyak 20 alamat pengiriman produk, dimana alamat toko dipilih pada daerah Klungkung dan Gianyar. Dengan penambahan sebanyak 20 data set baru, maka akan didapatkan sebanyak 40 data set yang akan digunakan. Dan jika semua jarak antar toko diukur maka akan didapatkan 1600 data set. Seperti terlihat pada tabel 1 dan table 2.

Tabel 1. Data Set: Lis Toko

id	kode_toko	nama_toko	alamat
1	B0001	Toko Gas Retail	Jl.Gatot Subroto
2	B0002	Wr.Pemuda	Jl.Pemuda

id	kode_toko	nama_toko	alamat
3	B0003	Wr.Bu Gede	Jl.Siligita
4	B0004	Wr.99	Jl.Pendidikan
5	B0005	Wr.Ayam Betutu	Jl.Sidakarya
6	B0006	Rm.Mita Minang	Jl.Raya Pemogan
7	B0007	Juice Bar	Jl.Kebudayaan
8	B0008	Wr.Oey	Jl.Raya Kesambi
9	B0009	Wr.Sandi	Jl.Kebo Iwa
10	B0010	Toko Kue Ryo	Jl.Suradipa
11	B0011	Toko Kue Bunga	Jl.Antasura
12	B0012	Wr.65	Jl.Wr. Supratman
13	B0013	Mac and Cheesy	Jl.Diponegoro
14	B0014	Depot 99	Jl.Palapa
15	B0015	Vian Resto	Jl.Mertasari
16	B0016	Café Bu Novi	Jl.Pratama
17	B0017	Man Shed	Jl.Tirtanadi
18	B0018	Indonesian Resto	Jl.Katrangan
19	B0019	Wr.Betutu Bu Lina	Jl.Mahendradatta
20	B0020	Confiture de Bali	Jl.Merdeka
21	B0021	Smoke House	Jl.Nirarta
22	B0022	Depot Serasi	Jl.Mawar
23	B0023	Rm.Rinjani	Jl.Gn.Rinjani
24	B0024	Wr.DC	Jl.Puputan
25	B0025	Papilas Coffee	Jl.Ngurah Rai
26	B0026	Rm.Kumendel	Jl.Raya Goa Lawah
27	B0027	Sukia Bar	Jl.Raya Gelgel
28	B0028	Balawa	Jl.Kresna
29	B0029	Wr.Jumpung	Jl.Rama
30	B0030	Ayu Café	Jl.Flamboyan
31	B0031	Ngerodok Resto	Jl.Mulawarman
32	B0032	Dora Resto	Jl.Patih Jelantik
33	B0033	Standing Stone	Jl.Pantai Purnama
34	B0034	Wr.Mika	Jl.Raya Batu Bulan
35	B0035	Wr.Legong	Jl.Prof.IB.Mantra
36	B0036	Petani Resto	Jl.Hanoman
37	B0037	Kismet Resto	Jl.Gaotama Selatan
38	B0038	Dharma Giri Resto	Jl.Dharma Giri
39	B0039	Kasava Resto	Jl.Raya Nyuh Kuning
40	B0040	Pangkon Bali Resto	Jl.Tirta

Tabel 2. Data Set: Lis Rute Kirim

no	awal	tujuan	waktu	jarak	biaya	litter
1	B0001	B0001	0 m	0 km	Rp. 0	0.0 lt
2	B0001	B0002	16 m	8 km	Rp. 8,354	1.0 lt
...
...
...
1537	B0039	B0017	48 m	23 km	Rp. 23,431	3 lt
1538	B0039	B0018	38 m	17 km	Rp. 17,319	2 lt
1539	B0039	B0019	47 m	22 km	Rp. 22,413	3 lt
1540	B0039	B0020	42 m	19 km	Rp. 19,356	2 lt
1541	B0039	B0021	49 m	20 km	Rp. 20,375	3 lt
1542	B0039	B0022	49 m	20 km	Rp. 20,375	3 lt
1543	B0039	B0023	50 m	20 km	Rp. 20,375	3 lt
1544	B0039	B0024	48 m	19 km	Rp. 19,356	2 lt
1545	B0039	B0025	49 m	20 km	Rp. 20,375	3 lt
1546	B0039	B0026	56 m	32 km	Rp. 32,600	4 lt
1547	B0039	B0027	47 m	19 km	Rp. 19,356	2 lt
1548	B0039	B0028	55 m	31 km	Rp. 31,581	4 lt
1549	B0039	B0029	54 m	31 km	Rp. 31,581	4 lt
1550	B0039	B0030	47 m	19 km	Rp. 19,356	2 lt

no	awal	tujuan	waktu	jarak	biaya	litter
1551	B0039	B0031	32 m	14 km	Rp. 14,263	2 lt
1552	B0039	B0032	27 m	9 km	Rp. 8,761	1 lt
1553	B0039	B0033	31 m	13 km	Rp. 13,244	2 lt
1554	B0039	B0034	24 m	12 km	Rp. 12,225	2 lt
1555	B0039	B0035	38 m	17 km	Rp. 17,319	2 lt
1556	B0039	B0036	19 m	3 km	Rp. 3,362	0 lt
1557	B0039	B0037	19 m	3 km	Rp. 3,260	0 lt
1558	B0039	B0038	26 m	9 km	Rp. 9,271	1 lt
1559	B0039	B0039	0 m	0 km	Rp. 0	0 lt
1560	B0039	B0040	21 m	6 km	Rp. 6,214	1 lt
1561	B0040	B0001	55 m	24 km	Rp. 24,450	3 lt
1562	B0040	B0002	1,440 m	28 km	Rp. 28,525	4 lt
1563	B0040	B0003	1,464 m	45 km	Rp. 45,844	6 lt
1564	B0040	B0004	1,451 m	34 km	Rp. 34,638	4 lt
1565	B0040	B0005	1,450 m	34 km	Rp. 34,638	4 lt
1566	B0040	B0006	1,456 m	37 km	Rp. 37,694	5 lt
1567	B0040	B0007	1,448 m	33 km	Rp. 33,619	4 lt
1568	B0040	B0008	1,446 m	29 km	Rp. 29,544	4 lt
1569	B0040	B0009	35 m	13 km	Rp. 13,244	2 lt
1570	B0040	B0010	48 m	21 km	Rp. 21,394	3 lt
1571	B0040	B0011	45 m	19 km	Rp. 19,356	2 lt
1572	B0040	B0012	54 m	22 km	Rp. 22,413	3 lt
1573	B0040	B0013	54 m	24 km	Rp. 24,450	3 lt
1574	B0040	B0014	1,451 m	34 km	Rp. 34,638	4 lt
1575	B0040	B0015	1,443 m	30 km	Rp. 30,563	4 lt
1576	B0040	B0016	1,468 m	48 km	Rp. 48,900	6 lt
1577	B0040	B0017	1,445 m	32 km	Rp. 32,600	4 lt
1578	B0040	B0018	53 m	22 km	Rp. 22,413	3 lt
1579	B0040	B0019	1,444 m	28 km	Rp. 28,525	4 lt
1580	B0040	B0020	57 m	24 km	Rp. 24,450	3 lt
1581	B0040	B0021	52 m	24 km	Rp. 24,450	3 lt
1582	B0040	B0022	52 m	24 km	Rp. 24,450	3 lt
1583	B0040	B0023	53 m	24 km	Rp. 24,450	3 lt
1584	B0040	B0024	50 m	23 km	Rp. 23,431	3 lt
1585	B0040	B0025	51 m	24 km	Rp. 24,450	3 lt
1586	B0040	B0026	1,441 m	32 km	Rp. 32,600	4 lt
1587	B0040	B0027	49 m	22 km	Rp. 22,413	3 lt
1588	B0040	B0028	1,440 m	31 km	Rp. 31,581	4 lt
1589	B0040	B0029	57 m	28 km	Rp. 28,525	4 lt
1590	B0040	B0030	49 m	23 km	Rp. 23,431	3 lt
1591	B0040	B0031	37 m	15 km	Rp. 15,281	2 lt
1592	B0040	B0032	30 m	12 km	Rp. 12,225	2 lt
1593	B0040	B0033	38 m	17 km	Rp. 17,319	2 lt
1594	B0040	B0034	39 m	17 km	Rp. 17,319	2 lt
1595	B0040	B0035	46 m	20 km	Rp. 20,375	3 lt
1596	B0040	B0036	14 m	4 km	Rp. 3,871	0 lt
1597	B0040	B0037	13 m	4 km	Rp. 3,769	0 lt
1598	B0040	B0038	29 m	13 km	Rp. 13,244	2 lt
1599	B0040	B0039	17 m	6 km	Rp. 6,214	1 lt
1600	B0040	B0040	0 m	0 km	Rp. 0	0 lt

SQLQuery3.sql - SURYA-RAHAYUD...
 /***** Script for SelectTopNRows comma
 SELECT TOP 1000 [id]
 , [kode_toko]
 , [nama_toko]
 , [alamat]
 FROM [pathfinding].[dbo].[list_toko]

id	kode_toko	nama_toko	alamat
26	B0026	Rm.Kumendel	Jl.Raya Goa Lawah
27	B0027	Sukia Bar	Jl.Raya Gelgel
28	B0028	Balawa	Jl.Kresna
29	B0029	Wr.Jumpung	Jl.Rama
30	B0030	Ayu Café	Jl.Flamboyan
31	B0031	Ngerodok Resto	Jl.Mulawaman
32	B0032	Dora Resto	Jl.Patih Jelantik
33	B0033	Standing Stone	Jl.Pantai Pumama
34	B0034	Wr.Mika	Jl.Raya Batu Bulan
35	B0035	Wr.Legong	Jl.Prof.IB.Mantra
36	B0036	Petani Resto	Jl.Hanoman
37	B0037	Kismet Resto	Jl.Gootama Selatan
38	B0038	Dharma Giri Resto	Jl.Dharma Giri
39	B0039	Kasava Resto	Jl.Raya Nyuh Kuning
40	B0040	Pangkon Bali Resto	Jl.Tirta

Query executed successfully.

Gambar 1. Basis Data Lis Toko

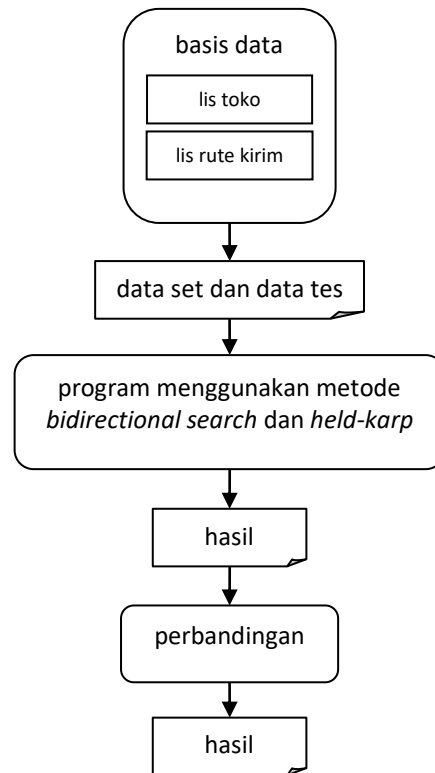
SQLQuery2.sql - SURYA-RAHAYUD...
 /***** Script for SelectTopNRows command Ex
 SELECT TOP 2000 [alamat_awal]
 , [alamat_akhir]
 , [waktu]
 , [jarak]
 , [biaya]
 FROM [pathfinding].[dbo].[list_rute_kirim]

alamat_awal	alamat_akhir	waktu	jarak	biaya
Jl.Tirta	Jl.Raya Gelgel	49	22	22412.5
Jl.Tirta	Jl.Kresna	1440	31	31581.25
Jl.Tirta	Jl.Rama	57	28	28525
Jl.Tirta	Jl.Flamboyan	49	23	23431.25
Jl.Tirta	Jl.Mulawaman	37	15	15281.25
Jl.Tirta	Jl.Patih Jelantik	30	12	12225
Jl.Tirta	Jl.Pantai Pumama	38	17	17318.75
Jl.Tirta	Jl.Raya Batu Bulan	39	17	17318.75
Jl.Tirta	Jl.Prof.IB.Mantra	46	20	20375
Jl.Tirta	Jl.Hanoman	14	3.8	3871.25
Jl.Tirta	Jl.Gootama Selatan	13	3.7	3769.375
Jl.Tirta	Jl.Dharma Giri	29	13	13243.75
Jl.Tirta	Jl.Raya Nyuh Kuning	17	6.1	6214.375
Jl.Tirta	Jl.Tirta	0	0	0

Query executed successfully.

Gambar 2. Basis Data Lis Rute Kirim

Data tes akan diujicobakan pada setiap program, sehingga nantinya setiap program akan mendapatkan jalur terdekat atau jalur terbaik yang berbeda. Hasil dari setiap jalur yang didapatkan kemudian dibandingkan dan nantinya akan didapatkan hasil perbandingan dari setiap metode. Dari hasil tersebut akan dapat dianalisa dan disimpulkan metode mana yang mendapatkan hasil terbaik dan lainnya.



Gambar 3. Alur Penelitian

4. IMPLEMENTASI DAN HASIL

Program dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman *visual basic*. Setelah kedua program tersebut selesai, selanjutnya dilakukan uji coba program tersebut terhadap beberapa data tes. Terdapat 20 paket pengiriman, masing-masing paket terdiri dari 5 titik atau lokasi. Tiap titik tersebut akan diinputkan kedalam program, dan program akan memproses untuk mencari jalur terbaik dan menyusun rute pengiriman dan setiap hasil percobaan akan dicatat dan disimpan. Seperti terlihat pada gambar 4 dan 5. Terdapat 5 buah *combobox* pada program, dimana nantinya admin akan memilih kode toko langganan yang melakukan pemesanan disesuaikan dengan paket pengiriman pada data tes, selanjutnya jika button jarak minimum ditekan, maka program akan memproses dan menampilkan hasil berupa: *graph matrix*, jarak, waktu biaya minimum dan rute tempuh terbaik yang diperoleh. Metode *Bidirectional Search* melakukan proses pencarian jalur terdekat dengan dua proses pencarian. Proses 1 dimulai dari *level awal* dari *graph matrix* kemudian dilanjutkan ke *level kedua* dan seterusnya. Disaat yang sama juga dilakukan proses 2, pencarian dimulai dari *level graph matrix* terakhir dan dilanjutkan ke *level* yang lebih kecil. Sehingga nantinya akan didapatkan rute awal dan rute akhir, rute awal dan rute akhir kemudian disatukan menjadi rute gabungan. Karena pada penelitian ini pengiriman harus kembali ke rute awal

maka rute hasil ditambahkan dengan jarak titik akhir ke titik awal (Dramski, 2014).

Tabel 3. Matrik Bidirectional Paket Pengiriman P3

jarak	B0001	B0004	B0003	B0023	B0022
B0001	0	13 ^(R1)	30	29	28
B0004	11	0	15	35 ^(R2)	34
B0003	24	15	0	46	46 ^(R4)
B0023	30	35	46 ^(R3)	0	0.5
B0022	30 ^(R5)	35	46	450	0

Berdasarkan matrik yang diperoleh dari hasil program, dapat ditentukan :

R1 : B0001 – B0015 : 13 km

R2 : B0015 – B0007 : 35 km

R3 : B0007 – B0011 : 46 km

R4 : B0011 – B0018 : 46 km

R5 : B0018 – B0001 : 30 km

Rute hasil = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 = 170 km

Rute terdekat dari pengiriman P3 berdasarkan metode *Bidirectional Search* adalah 170 km (Zhang, Hao and Mouftah, 2014). Tidak seperti pada metode *Bidirectional Search* yang melakukan pencarian secara dwi arah menggunakan dua proses pencarian (Chilton, 2014). Pada metode *Held-Karp* hanya dilakukan satu proses pencarian (Svensson, 2015), dan pada metode *Held-Karp* proses pencarian sudah memperhitungkan mengenai jarak yang ditempuh sampai dengan kembali ke titik awal.

Tabel 4. Matrik *Held-Karp* Paket Pengiriman P3

jarak	B0001	B0004	B0003	B0023	B0022
B0001	0	13	30	29	28 ^(R1)
B0004	11	0	15 ^(R3)	35	34
B0003	24	15	0	46 ^(R4)	46
B0023	30 ^(R5)	35	46	0	0.5
B0022	30	35 ^(R2)	46	450	0

Berdasarkan matrik yang diperoleh dari hasil program, dapat ditentukan:

R1 : B0001 – B0022 : 28 km

R2 : B0022 – B0004 : 35 km

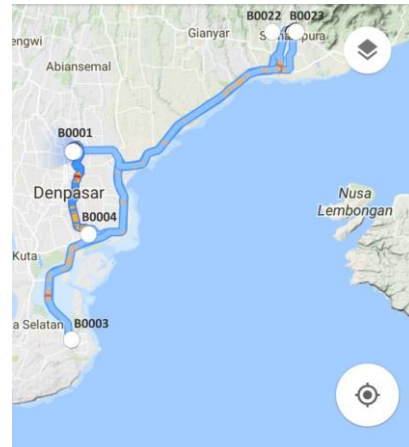
R3 : B0004 – B0003 : 15 km

R4 : B0003 – B0023 : 46 km

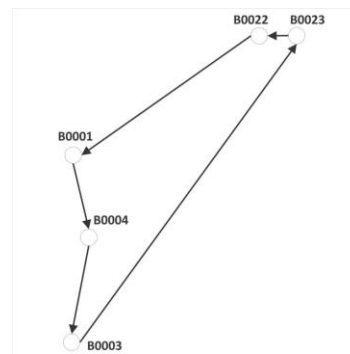
R5 : B0023 – B0001 : 30 km

Rute hasil = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 = 154 km

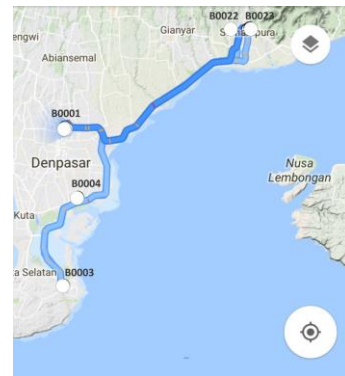
Rute terdekat dari pengiriman P3 berdasarkan metode *Held-Karp* adalah 154 km (Svensson, 2015). Gambar 4, 5, 6 dan 7 merupakan ilustrasi rute pengiriman produk.



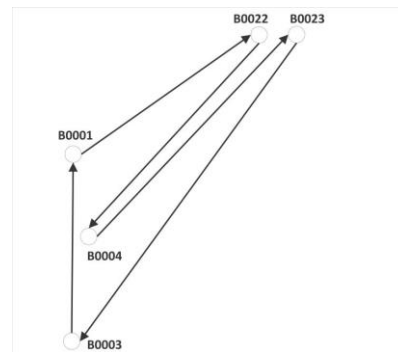
Gambar 4. *Held-Karp* P3 Pada Maps



Gambar 5. Ilustrasi *Held-Karp* P3



Gambar 6. *Bidirectional Search* P3 pada Maps



Gambar 7. Ilustrasi *Bidirectional Search* P3

Proses uji coba dilakukan pada 20 data tes, dari paket 1 sampai paket 20. Hasil uji coba program *Bidirectional Search* dan *Held-Karp* terlihat pada tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Hasil Percobaan *Bidirectional Search*

Pkt	Data Tes		Hasil Metode <i>Bidirectional Search</i>		
	n	nama toko	n	nama toko	jarak
P1	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	88 Km
	2	Wr.Pemuda	2	Wr.Pemuda	
	3	Confiture de Bali	3	Confiture de Bali	
	4	Smoke House	4	Smoke House	
	5	Pangkon Bali Resto	5	Pangkon Bali Resto	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P2	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	109 Km
	2	Wr.Bu Gede	2	Wr.Bu Gede	
	3	Wr.Pemuda	3	Wr.Pemuda	
	4	Depot Serasi	4	Depot Serasi	
	5	Smoke House	5	Smoke House	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P3	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	170 Km
	2	Wr.99	2	Wr.99	
	3	Wr.Bu Gede	3	Rm.Rinjani	
	4	Rm.Rinjani	4	Wr.Bu Gede	
	5	Depot Serasi	5	Depot Serasi	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P4	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	144 Km
	2	Wr.Ayam Betutu	2	Wr.Ayam Betutu	
	3	Wr.99	3	Wr.DC	
	4	Wr.DC	4	Wr.99	
	5	Rm.Rinjani	5	Rm.Rinjani	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P5	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	62 Km
	2	Rm.Mita Minang	2	Rm.Mita Minang	
	3	Wr.Ayam Betutu	3	Wr.Ayam Betutu	
	4	Papilas Coffee	4	Papilas Coffee	
	5	Wr.DC	5	Wr.DC	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P6	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	101 Km
	2	Juice Bar	2	Juice Bar	
	3	Rm.Mita Minang	3	Rm.Mita Minang	
	4	Rm.Kumendel	4	Rm.Kumendel	
	5	Papilas Coffee	5	Papilas Coffee	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P7	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	92 Km
	2	Wr.Oey	2	Wr.Oey	
	3	Juice Bar	3	Juice Bar	
	4	Sukia Bar	4	Sukia Bar	
	5	Rm.Kumendel	5	Rm.Kumendel	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P8	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	78 Km
	2	Wr.Sandi	2	Wr.Sandi	
	3	Wr.Oey	3	Wr.Oey	
	4	Balawa	4	Balawa	
	5	Sukia Bar	5	Sukia Bar	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P9	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	82 Km
	2	Toko Kue Ryo	2	Toko Kue Ryo	
	3	Wr.Sandi	3	Wr.Sandi	
	4	Wr.Jumpung	4	Wr.Jumpung	
	5	Balawa	5	Balawa	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P10	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	70 Km
	2	Toko Kue Bunga	2	Toko Kue Bunga	
	3	Toko Kue Ryo	3	Toko Kue Ryo	
	4	Ayu Cafe	4	Ayu Cafe	
	5	Wr.Jumpung	5	Wr.Jumpung	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P11	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	71 Km
	2	Wr.65	2	Wr.65	
	3	Toko Kue Bunga	3	Toko Kue Bunga	
	4	Ngerodok Resto	4	Ngerodok Resto	
	5	Ayu Cafe	5	Ayu Cafe	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	

Pkt	Data Tes		Hasil Metode <i>Bidirectional Search</i>		
	n	nama toko	n	nama toko	jarak
P12	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	59 Km
	2	Mac and Cheesy	2	Mac and Cheesy	
	3	Wr.65	3	Wr.65	
	4	Dora Resto	4	Dora Resto	
	5	Ngerodok Resto	5	Ngerodok Resto	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P13	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	72 Km
	2	Depot 99	2	Depot 99	
	3	Mac and Cheesy	3	Mac and Cheesy	
	4	Standing Stone	4	Standing Stone	
	5	Dora Resto	5	Dora Resto	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P14	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	57 Km
	2	Vian Resto	2	Vian Resto	
	3	Wr.Mika	3	Wr.Mika	
	4	Standing Stone	4	Standing Stone	
	5	Mac and Cheesy	5	Mac and Cheesy	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P15	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	97 Km
	2	Cafe Bu Novi	2	Cafe Bu Novi	
	3	Vian Resto	3	Vian Resto	
	4	Wr.Legong	4	Wr.Legong	
	5	Wr.Mika	5	Wr.Mika	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P16	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	109 Km
	2	Pangkon Bali Resto	2	Pangkon Bali Resto	
	3	Cafe Bu Novi	3	Cafe Bu Novi	
	4	Petani Resto	4	Petani Resto	
	5	Wr.Legong	5	Wr.Legong	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P17	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	56 Km
	2	Indonesian Resto	2	Indonesian Resto	
	3	Pangkon Bali Resto	3	Pangkon Bali Resto	
	4	Kismet Resto	4	Kismet Resto	
	5	Petani Resto	5	Petani Resto	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P18	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	67 Km
	2	Wr.Betutu Bu Lina	2	Wr.Betutu Bu Lina	
	3	Indonesian Resto	3	Indonesian Resto	
	4	Dharma Giri Resto	4	Dharma Giri Resto	
	5	Kismet Resto	5	Kismet Resto	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P19	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	70 Km
	2	Confiture de Bali	2	Confiture de Bali	
	3	Wr.Betutu Bu Lina	3	Wr.Betutu Bu Lina	
	4	Kasava Resto	4	Kasava Resto	
	5	Dharma Giri Resto	5	Dharma Giri Resto	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P20	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	58 Km
	2	Wr.Pemuda	2	Wr.Pemuda	
	3	Confiture de Bali	3	Confiture de Bali	
	4	Pangkon Bali Resto	4	Pangkon Bali Resto	
	5	Kasava Resto	5	Kasava Resto	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	

Tabel 6. Hasil Percobaan *Held-Karp*

Pkt	Data Tes		Hasil Metode <i>Held-Karp</i>		
	n	nama toko	n	nama toko	jarak
P1	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	83 Km
	2	Wr.Pemuda	2	Pangkon Bali Resto	
	3	Confiture de Bali	3	Smoke House	
	4	Smoke House	4	Wr.Pemuda	
	5	Pangkon Bali Resto	5	Confiture de Bali	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P2	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	100 Km
	2	Wr.Bu Gede	2	Smoke House	
	3	Wr.Pemuda	3	Depot Serasi	
	4	Depot Serasi	4	Wr.Bu Gede	
	5	Smoke House	5	Wr.Pemuda	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	

Pkt	Data Tes		Hasil Metode <i>Held-Karp</i>		
	n	nama toko	n	nama toko	jarak
P3	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	154 Km
	2	Wr.99	2	Depot Serasi	
	3	Wr.Bu Gede	3	Wr.99	
	4	Rm.Rinjani	4	Wr.Bu Gede	
	5	Depot Serasi	5	Rm.Rinjani	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P4	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	142 Km
	2	Wr.Ayam Betutu	2	Rm.Rinjani	
	3	Wr.99	3	Wr.Ayam Betutu	
	4	Wr.DC	4	Wr.DC	
	5	Rm.Rinjani	5	Wr.99	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P5	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	81 Km
	2	Rm.Mita Minang	2	Wr.DC	
	3	Wr.Ayam Betutu	3	Papilas Coffee	
	4	Papilas Coffee	4	Wr.Ayam Betutu	
	5	Wr.DC	5	Rm.Mita Minang	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P6	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	92 Km
	2	Juice Bar	2	Papilas Coffee	
	3	Rm.Mita Minang	3	Rm.Kumendel	
	4	Rm.Kumendel	4	Juice Bar	
	5	Papilas Coffee	5	Rm.Mita Minang	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P7	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	93 Km
	2	Wr.Oey	2	Rm.Kumendel	
	3	Juice Bar	3	Sukia Bar	
	4	Sukia Bar	4	Juice Bar	
	5	Rm.Kumendel	5	Wr.Oey	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P8	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	64 Km
	2	Wr.Sandi	2	Sukia Bar	
	3	Wr.Oey	3	Balawa	
	4	Balawa	4	Wr.Sandi	
	5	Sukia Bar	5	Wr.Oey	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P9	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	60 Km
	2	Toko Kue Ryo	2	Balawa	
	3	Wr.Sandi	3	Wr.Jumpung	
	4	Wr.Jumpung	4	Wr.Sandi	
	5	Balawa	5	Toko Kue Ryo	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P10	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	72 Km
	2	Toko Kue Bunga	2	Wr.Jumpung	
	3	Toko Kue Ryo	3	Ayu Cafe	
	4	Ayu Cafe	4	Toko Kue Bunga	
	5	Wr.Jumpung	5	Toko Kue Ryo	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P11	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	67 Km
	2	Wr.65	2	Ayu Cafe	
	3	Toko Kue Bunga	3	Ngerodok Resto	
	4	Ngerodok Resto	4	Toko Kue Bunga	
	5	Ayu Cafe	5	Wr.65	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P12	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	43 Km
	2	Mac and Cheesy	2	Ngerodok Resto	
	3	Wr.65	3	Dora Resto	
	4	Dora Resto	4	Mac and Cheesy	
	5	Ngerodok Resto	5	Wr.65	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P13	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	65 Km
	2	Depot 99	2	Dora Resto	
	3	Mac and Cheesy	3	Standing Stone	
	4	Standing Stone	4	Depot 99	
	5	Dora Resto	5	Mac and Cheesy	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P14	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	53 Km
	2	Vian Resto	2	Mac and Cheesy	
	3	Wr.Mika	3	Vian Resto	
	4	Standing Stone	4	Wr.Mika	
	5	Mac and Cheesy	5	Standing Stone	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	

Pkt	Data Tes		Hasil Metode <i>Held-Karp</i>		
	n	nama toko	n	nama toko	jarak
P15	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	87 Km
	2	Cafe Bu Novi	2	Wr.Mika	
	3	Vian Resto	3	Wr.Legong	
	4	Wr.Legong	4	Vian Resto	
	5	Wr.Mika	5	Cafe Bu Novi	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P16	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	107 Km
	2	Pangkon Bali Resto	2	Wr.Legong	
	3	Cafe Bu Novi	3	Petani Resto	
	4	Petani Resto	4	Pangkon Bali Resto	
	5	Wr.Legong	5	Cafe Bu Novi	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P17	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	61 Km
	2	Indonesian Resto	2	Petani Resto	
	3	Pangkon Bali Resto	3	Kismet Resto	
	4	Kismet Resto	4	Pangkon Bali Resto	
	5	Petani Resto	5	Indonesian Resto	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P18	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	70 Km
	2	Wr.Betutu Bu Lina	2	Kismet Resto	
	3	Indonesian Resto	3	Dharma Giri Resto	
	4	Dharma Giri Resto	4	Indonesian Resto	
	5	Kismet Resto	5	Wr.Betutu Bu Lina	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P19	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	68 Km
	2	Confiture de Bali	2	Dharma Giri Resto	
	3	Wr.Betutu Bu Lina	3	Kasava Resto	
	4	Kasava Resto	4	Confiture de Bali	
	5	Dharma Giri Resto	5	Wr.Betutu Bu Lina	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	
P20	1	Toko Gas Retail	1	Toko Gas Retail	57 Km
	2	Wr.Pemuda	2	Kasava Resto	
	3	Confiture de Bali	3	Pangkon Bali Resto	
	4	Pangkon Bali Resto	4	Confiture de Bali	
	5	Kasava Resto	5	Wr.Pemuda	
	6	Toko Gas Retail	6	Toko Gas Retail	

Dari hasil percobaan tersebut dapat dilihat bahwa sebagian besar metode *Held-Karp* dapat menentukan jalur yang lebih dekat dibandingkan dengan metode *Bidirectional Search*.

Tabel 7. Perbandingan Bidirectional dan *Held-Karp*

Paket	<i>Held-Karp</i>	Bidirectional	Selisih Perbedaan	
	jarak	jarak	jarak	%
P1	83 Km	88 Km	5 Km	6%
P2	100 Km	109 Km	9 Km	8%
P3	154 Km	170 Km	16 Km	9%
P4	142 Km	144 Km	2 Km	1%
P5	81 Km	62 Km	-19 Km	-31%
P6	92 Km	101 Km	9 Km	9%
P7	93 Km	92 Km	-1 Km	-1%
P8	64 Km	78 Km	14 Km	18%
P9	60 Km	82 Km	22 Km	27%
P10	72 Km	70 Km	-2 Km	-3%
P11	67 Km	71 Km	4 Km	6%
P12	43 Km	59 Km	16 Km	27%
P13	65 Km	72 Km	7 Km	10%
P14	53 Km	57 Km	4 Km	7%
P15	87 Km	97 Km	10 Km	10%
P16	107 Km	109 Km	2 Km	2%
P17	61 Km	56 Km	-5 Km	-9%
P18	70 Km	67 Km	-3 Km	-4%
P19	68 Km	70 Km	2 Km	3%
P20	57 Km	58 Km	1 Km	2%
Selisih total dan persentase			5 Km	5%

Walaupun sebagian besar hasil percobaan metode *Held-Karp* lebih baik dibandingkan dengan metode *Bidirectional Search*, namun pada beberapa kasus pengiriman, metode *Bidirectional Search* mendapatkan hasil yang lebih baik. Dari tabel perbandingan tersebut dapat dilihat bahwa metode *Bidirectional Search* mendapatkan hasil yang lebih baik pada paket pengiriman P5, P7, P10, P17 dan P18. Sedangkan metode *Held-Karp* mendapatkan hasil yang lebih baik pada paket pengiriman P1 sampai dengan P5, P8 sampai dengan P16, P19 dan P20.

Dari hasil percobaan tersebut, jika dilakukan kalkulasi secara keseluruhan, dapat dikatakan metode *Held-Karp* dapat menentukan jalur yang lebih baik dibandingkan dengan metode *Bidirectional Search*, *Held-Karp* mendapatkan hasil yang lebih baik sebesar 5 % dibandingkan dengan metode *Bidirectional Search*. Jika digambarkan dalam bentuk chart maka akan terlihat seperti pada gambar 8.



Gambar 8. Chart Perbandingan *Bidirectional Search* dan *Held-Karp*

5. KESIMPULAN

Metode *Bidirectional Search* dan *Held-Karp* berhasil diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman visual basic. Dari uji coba terhadap beberapa data tes, diketahui *Held-Karp* mendapatkan hasil 5 % lebih baik dari *Bidirectional Search*. Dari beberapa penelitian yang dilakukan,

dapat disimpulkan metode *Held-Karp* lebih tepat diterapkan untuk kasus pengiriman produk yang memerlukan perjalanan kembali ke titik awal setelah semua titik dikunjungi (Islam, Narayanan and Likhachev, 2016). Metode *Bidirectional Search* akan lebih baik jika diterapkan pada kasus yang tidak memerlukan perjalanan kembali ke titik awal dan akan mendapatkan hasil optimal jika diterapkan pada kasus pengiriman yang memiliki data titik dengan jarak berdekatan di *level* awal dan akhir matrik (Sturtevant and Chen, 2016), dan memiliki titik yang berjauhan di *level* tengah dari graph matrik (Kucherov, Salikhov and Tsur, 2014).

DAFTAR PUSTAKA

- AN, H.-C., KLEINBERG, R. and SHMOYS, D.B., 2015. Improving Christofides' Algorithm for the s-t Path TSP. *Journal of the ACM*, 62(5), pp.1–28.
- BECKER, A., FOX-EPSTEIN, E., KLEIN, P.N. and MEIERFRANKENFELD, D., 2017. Engineering an Approximation Scheme for Traveling Salesman in Planar Graphs *. (8), pp.1–8.
- CHEKURI, C., 2017. Approximating the Held-Karp Bound for Metric TSP in Nearly Linear Time *. In: *58th Annual IEEE Symposium on Foundations of Computer Science*.
- CHEN, J., HOLTE, R.C., ZILLES, S. and STURTEVANT, N.R., 2017. Front-to-End Bidirectional Heuristic Search with Near-Optimal Node Expansions.
- CHENTSOV, A., KHACHAY, M. and KHACHAY, D., 2016. Linear time algorithm for Precedence Constrained Asymmetric Generalized Traveling Salesman Problem. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), pp.651–655.
- CHILTON, M.A., 2014. Resource allocation in IT projects: Using schedule optimization. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 2(3), pp.47–59.
- DRAMSKI, M., 2014. Bi-directional search in route planning in navigation. *Scientific Journals Maritime University of Szczecin*, 39(111), pp.57–62.
- HOLTE, R.C., FELNER, A., SHARON, G., STURTEVANT, N.R. and CHEN, J., 2017. MM: A bidirectional search algorithm that is guaranteed to meet in the middle. *Artificial Intelligence*, 252, pp.232–266.
- ISLAM, F., NARAYANAN, V. and LIKHACHEV, M., 2016. A*-Connect: Bounded suboptimal bidirectional heuristic search. In: *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*. pp.2752–2758.
- KELVIN, A., 2016. Aplikasi Program Dinamis dalam Pemecahan TSP. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi*.

- KUCHEROV, G., SALIKHOV, K. and TSUR, D., 2014. Approximate String Matching Using a Bidirectional Index. *Combinatorial pattern matching*, 8486, pp.222–231.
- MOORE, T., 2015. Implementing the Held-Karp Lower Bound Algorithm in Python. In: *Final Report for CM2SC 4515 – Honors Option*.
- MOYLETT, D.J., LINDEN, N. and MONTANARO, A., 2016. Quantum speedup of the Travelling Salesman Problem for bounded-degree graphs. pp.1–12.
- RAHAYUDA, I.G.S. and SANTIARI, N.P.L., 2017. Penerapan Pemrograman Dinamis Pada Manajemen Pengiriman Produk Menggunakan Metode Held-Karp. In: *Konferensi Nasional Sistem & Informatika 2017*. pp.513–518.
- RAHAYUDA, I.G.S. and SANTIARI, N.P.L., 2018a. Basis Path Testing of Iterative Deepening Search and Held-Karp on Pathfinding Algorithm. *Jurnal Ilmiah Kursor*, 9(2).
- RAHAYUDA, I.G.S. and SANTIARI, N.P.L., 2018b. Implementasi dan Perbandingan Metode Iterative Deepening Search dan Held-Karp pada Manajemen Pengiriman Produk. *Sisfo*, 07(02).
- STURTEVANT, N.R. and CHEN, J., 2016. External memory bidirectional search. In: *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence*. pp.676–682.
- SUN, Q., LEE, S. and BATRA, D., 2017. Bidirectional beam search: Forward-backward inference in neural sequence models for fill-in-the-blank image captioning. In: *Proceedings - 30th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, CVPR 2017*. pp.7215–7223.
- SVENSSON, O., 2015. *Symmetric Traveling Salesman Problem*.
- ZHANG, B., HAO, J. and MOUFTAH, H.T., 2014. Bidirectional multi-constrained routing algorithms. *IEEE Transactions on Computers*, 63(9), pp.2174–2186.

Halaman ini sengaja dikosongkan