

Penyelesaian *Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick Up and Delivery* dengan Algoritma *Tabu Search*

Annisa Kesya Garside^{1*}, Dian Nur Cahyanti¹

Abstract. *Vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery (VRPSPD) is a problem of vehicle routes where the delivery and pickup of products to each consumer is conducted simultaneously. Pangkalan Agisindo Alam Mandiri is engaged in the distribution of 3 kg LPG. At present, pangkalan already has a schedule of visits to retail stores, but the visit route is still subjectively set which causes long mileage and high transportation costs. The problem of determining the route at this pangkalan is called VRPSPD because pangkalan delivered filled LPG tubes to retail stores and at the same time picked up empty LPG tubes to be brought back. To determine the route, one must consider the vehicle capacity and the ratio of the number of LPG tubes delivered and picked up. This research used a tabu search algorithm to get the proposed route. The steps in the tabu search algorithm includes determination of the initial solution, the neighborhood search, intensification phase, diversification phase, standard phase, and interactive phase. By using the tabu search algorithm, the proposed route provided a savings of transportation costs of 13.72% rather than the initial route of the company.*

Keywords: *vehicle routing, pick up, delivery, tabu search algorithm, distribution of LPG.*

Abstrak. *Vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery (VRPSPD) merupakan permasalahan rute kendaraan dimana pengiriman dan pengambilan produk ke tiap konsumen dilakukan sekaligus. Pangkalan Agisindo Alam Mandiri bergerak dalam pendistribusian LPG 3 kg. Saat ini, pangkalan sudah memiliki jadwal kunjungan ke toko ritel, namun rute kunjungan masih ditetapkan secara subyektif sehingga menyebabkan jarak tempuh yang lama dan biaya transportasi yang tinggi. Permasalahan penentuan rute pada pangkalan ini termasuk VRPSPD karena pangkalan mengirimkan tabung LPG yang terisian sekaligus mengambil tabung LPG yang kosong untuk dibawa kembali ke pangkalan. Dalam penentuan rute harus mempertimbangkan kapasitas kendaraan serta rasio jumlah tabung LPG yang dikirim dan diambil. Penelitian ini menggunakan algoritma tabu search untuk mendapatkan rute usulan. Langkah-langkah dalam algoritma tabu search meliputi penentuan solusi awal, pencarian neighborhood, fase intensifikasi, fase diversifikasi, fase standar, dan fase interaktif. Dengan menggunakan algoritma tabu search, rute usulan memberikan penghematan biaya transportasi sebesar 13,72 % daripada rute awal perusahaan.*

Kata Kunci: *rute kendaraan, pick up, delivery, algoritma tabu search, distribusi LPG.*

I. PENDAHULUAN

Vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery (VRPSPD) adalah salah satu varian dari *vehicle routing problem* yang mempertimbangkan 2 tipe layanan yaitu pengiriman dan pengambilan produk yang dilakukan sekaligus saat mengunjungi seorang konsumen. Min (1989) memperkenalkan VRPSPD pertama kali dan mengusulkan algoritma

berdasarkan pendekatan *cluster first-route second*. Selanjutnya, Salhi dan Nagy (1999) mengusulkan *cluster insertion heuristic* untuk menyelesaikan VRPSPD. Dethloff (2001) mengusulkan formulasi matematis dan mengembangkan *cheapest insertion heuristic* untuk VRPSPD. Pada tahun 2005, Nagy dan Salhi mengembangkan 3 metode heuristik baru berdasarkan penelitian yang sebelumnya dilakukan. Wassan dkk. (2008), masih melanjutkan penelitian VRPSPD yang dilakukan oleh Nagy, namun mengusulkan metaheuristik yang disebut dengan *reactive tabu search*.

Saat ini, *tabu search* adalah salah satu algoritma metaheuristik yang paling luas digunakan. Beberapa peneliti telah mengusulkan algoritma *tabu search* untuk menyelesaikan VRPSPD. Crispim dan Brandao (2005) menyelesaikan VRPSPD dengan algoritma *hybrid*

¹ Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Malang, Jalan Raya Tlogomas Nomor 246, Malang, 65144

* email: annisa_garside@yahoo.com

yang terdiri dari *tabu search* dan *variable neighborhood descent*. Chen dan Wu (2006) mengusulkan solusi awal dengan *cheapest insertion algorithm* dan selanjutnya diperbaiki dengan algoritma *hybrid* yang terdiri dari *tabu search* dan *record-to-record travel*. Pada tahun yang sama, Montane dan Galvao (2006) mengembangkan algoritma *tabu search* untuk menyelesaikan VRPSPD. Prosedur *tabu search* yang diusulkan menunjukkan rata-rata perbaikan solusi biaya sebesar 8,82% untuk set data problem Dethloff serta 13,43% untuk set data problem Salhi dan Nagy. Bianchessi dan Righini (2007) mengusulkan algoritma *local search* dan *tabu search* untuk menyelesaikan VRPSPD. Dari hasil perbandingan dengan algoritma Dethloff, *tabu search* yang diusulkan mereka menunjukkan perbaikan solusi biaya yang lebih besar. Selanjutnya Zachariadis dkk. (2009) mengusulkan pendekatan hibrid metaheuristik berdasarkan pada *tabu search* dan *guided local search* untuk memperbaiki solusi awal yang diperoleh dengan menggunakan *cost saving method*. Selanjutnya Phannikul dan Sindhuchao (2010) serta Fard dan Akbari (2013) mengusulkan algoritma *tabu search* untuk menyelesaikan VRPSPD.

Pangkalan Agisindo Alam Mandiri (AAM) bergerak dalam pendistribusian LPG (*Liquified Petroleum Gas*) 3 kg. Pangkalan ini mengirimkan LPG ke 55 toko ritel yang tersebar di Kecamatan Singosari dan Karang Ploso. Saat ini, pangkalan sudah memiliki jadwal kunjungan setiap hari, tetapi tidak memiliki rute yang pasti dalam melakukan pengiriman. Sopir mengunjungi toko ritel mulai dari yang terdekat dari pangkalan kemudian dilanjutkan ke toko ritel lain yang berada di sekitarnya, sehingga berakibat pada lamanya waktu tempuh dan tingginya biaya transportasi yang dikeluarkan oleh pangkalan tersebut. Problem penentuan rute yang dihadapi oleh pangkalan AAM termasuk ke dalam VRPSPD karena ada 2 tipe layanan yang harus dilakukan sekaligus pada tiap toko ritel yaitu jumlah jumlah tabung LPG penuh yang akan dikirim dan jumlah tabung LPG kosong yang akan diambil.

Algoritma *tabu search* adalah sebuah metode optimasi dengan prinsip dasar mengikuti kemampuan *local search* dengan tambahan

kemampuan untuk menghindari optimum lokal dengan cara membiarkan *nonimproving value* bergerak kembali ke solusi sebelumnya dengan menggunakan memori yang disebut dengan *tabu list* (Glover, 1989). Penggunaan memori yang menyimpan informasi yang terkait dengan proses pencarian merupakan fitur dari *tabu search* (Hedar & Bakr, 2014). Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, algoritma *tabu search* telah banyak digunakan dalam menyelesaikan VRPSPD dan mampu menghasilkan biaya yang lebih kecil dibanding beberapa algoritma lain. Oleh karena itu, penyelesaian permasalahan rute yang dihadapi pangkalan AAM menggunakan algoritma *tabu search*.

II. METODE PENELITIAN

Langkah penyelesaian VRPSPD dalam penelitian dibagi dalam 3 tahap: (1) pengumpulan data, (2) penentuan rute dengan algoritma *tabu search*, (3) perhitungan total jarak tempuh, waktu tempuh dan biaya transportasi antara rute perusahaan dengan rute usulan.

Pada tahap pertama, data-data yang dikumpulkan meliputi: 1) nama dan alamat toko ritel, 2) jumlah tabung LPG penuh yang dikirim dan jumlah tabung LPG kosong yang diambil, 3) jarak tempuh dari pangkalan ke toko ritel dan dari satu toko ritel ke toko ritel yang lainnya, 4) waktu tempuh dari pangkalan ke toko ritel dan dari satu toko ritel ke toko ritel yang lainnya, 5) waktu pelayanan yang dibutuhkan untuk *loading* dan *unloading* LPG di tiap toko. Data jarak tempuh diperoleh dengan mengikuti perjalanan kendaraan secara langsung. Sedangkan waktu tempuh kendaraan dihitung dengan membagi jarak tempuh dengan kecepatan kendaraan. Kecepatan kendaraan pada saat penelitian rata-rata sebesar 20 km/jam.

Pada tahap kedua, penentuan rute usulan menggunakan prosedur algoritma *tabu search* yang diusulkan oleh Montane dan Galvao (2006). Hal ini didasarkan pertimbangan performansi prosedur algoritma ini lebih bagus dibanding beberapa prosedur algoritma *tabu search* yang lain. Penelitian terdahulu yang menggunakan struktur algoritma yang sama dilakukan Idaman

(2013) untuk menyelesaikan permasalahan distribusi air minum Fresh.

Langkah 0. Penentuan solusi rute awal dengan menggunakan prosedur heuristik yaitu *Independent Grouping and Routing 1* (IGR1). Dalam prosedur ini pengelompokan toko ritel dibuat berdasarkan *smallest maximum load*, kemudian metode heuristik *2-opt* digunakan untuk memperbaiki rute awal yang diperoleh dengan mengurutkan kunjungan toko ritel. *Smallest maximum load* terjadi ketika kendaraan mengunjungi semua toko ritel yang mempunyai $nd(i) \leq 0$ terlebih dahulu kemudian mengunjungi toko ritel yang mempunyai $nd(i) > 0$ dengan syarat tidak melanggar kapasitas kendaraan. Dimana $nd(i)$ menyatakan *net demand* dari toko ritel i yang merupakan selisih banyaknya LPG yang diminta untuk diambil/*pickup* (π) dan banyaknya LPG yang dikirim (δ).

Langkah 1 (fase awal). Pada fase ini dilakukan pencarian solusi *neighborhood* dari solusi sebelumnya dengan menggunakan tiga tipe *inter-movement route* (*relocation*, *interchange*, dan *crossover*) dan satu tipe *intra-movement route* (*2-opt*). Setiap tipe *inter-movement route* dapat membuat *neighborhood*, dalam penelitian ini pencarian *neighborhood* menggunakan *best admissible solution*, artinya seluruh *neighborhood* dicari dan selanjutnya solusi *feasible movement* terbaik yang akan dipilih. Kemudian dilakukan pengecekan status *move* apakah bersifat tabu aktif atau tidak (jika tabu aktif dilakukan pengecekan kriteria aspirasi), *update tabu list*, dan *update* solusi sekarang jika solusi yang ditemukan setelah melakukan *move* memiliki nilai fungsi objektif lebih baik dari solusi sekarang. Dalam fase awal ini, jumlah iterasi ditetapkan sebanyak 5 kali, nilai *tabu tenure* untuk sisi yang dihilangkan adalah 3 dan sisi yang ditambahkan adalah 2. Banyaknya sisi yang boleh berada pada *tabu list* adalah 20 sisi.

Langkah 2 (fase intensifikasi). Fase ini dimulai dari solusi terbaik yang diperoleh pada fase awal. Pada fase intensifikasi, langkah pencarian solusi *neighborhood* pada langkah 1 diganti dengan pencarian solusi *neighborhood* menggunakan prosedur intensifikasi. Nilai *tabu tenure* dipecah

menjadi dua pada saat fase ini. Dalam fase ini, jumlah iterasi ditetapkan sebanyak 1 kali.

Langkah 3 (fase diversifikasi). Fase ini dimulai dari solusi yang diperoleh pada fase intensifikasi. Pada fase ini, langkah pencarian solusi *neighborhood* pada langkah 2 diganti dengan pencarian solusi *neighborhood* menggunakan prosedur diversifikasi. Pada fase ini nilai *tabu tenure* pada fase sebelumnya diperbaiki. Dalam fase ini, jumlah iterasi ditetapkan sebanyak 1 kali.

Langkah 4 (fase standar). Fase ini dimulai dari solusi yang didapat dari fase 3. Pencarian solusi *neighborhood* algoritma *tabu search* dilakukan seperti pada fase 1. Nilai *tabu tenure* dari penghilangan dan penambahan sisi ditetapkan kembali. Jumlah iterasi pada fase ini ditetapkan sebanyak 3 kali.

Langkah 5 (fase interaktif). Ulangi fase 2-4 hingga salah satu dari kriteria penghentian dicapai. Kriteria penghentian yang digunakan adalah: (1) tidak ada lagi *movement* yang layak dan (2) maksimum jumlah iterasi pada langkah 1-4 telah tercapai. Jumlah iterasi pada fase ini ditetapkan 3 kali.

Pada tahap ketiga, perhitungan total jarak dan waktu tempuh diperoleh dengan menjumlahkan jarak dan waktu tempuh berdasarkan rute yang terbentuk. Selanjutnya biaya transportasi dihitung dengan menjumlahkan biaya tenaga kerja dan biaya bahan bakar. Biaya tenaga kerja mempertimbangkan durasi waktu pelayanan dan waktu tempuh kendaraan. Sedangkan biaya bahan bakar mempertimbangkan jarak tempuh rute. Jika biaya transportasi rute usulan lebih kecil dari rute perusahaan maka penyelesaian masalah rute pangkalan telah tercapai. Sebaliknya, akan dilakukan pencarian rute kembali dengan menambah jumlah iterasi pada langkah 1-4 pada prosedur algoritma *tabu search* diatas.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pangkalan AAM menggunakan 1 unit mobil *pick-up* untuk melakukan pengiriman LPG 3 kg dengan kapasitas angkut 150 tabung. Pangkalan mendapat pengiriman dari agen LPG sebesar 200 tabung/hari sehingga maksimal mampu mengirim 200 tabung ke toko-toko ritel. Karena hanya

Tabel 1. Kuantitas *delivery* dan *pickup* tiap toko ritel pada 7 Mei 2018

Toko ritel	Lokasi	<i>Delivery</i>	<i>Pickup</i>
T1	Jl. Raya Tumapel, No. 21, Singosari	17	16
T2	Jl. Raya Tumapel, No. 47, Singosari	21	21
T5	Jl. Tumapel Barat, No. 151, Singosari	35	35
T6	Jl. Ronggowuni, No. 35, Singosari	14	14
T9	Jl. Masjid No. 84, Singosari	10	8
T11	Jl. Kembang No. 29, Singosari	25	25
T12	Jl. Kembang No. 34, Singosari	15	15
T13	Jl. Raya Singosari No.120, Singosari	7	7
T14	Jl. Rogonoto No. 12 A, Singosari	10	10
T25	Jl. Brawijaya No. 6 A, Singosari	15	15
T28	Jl. Rogonoto Timur No. 228, Singosari	9	9
T29	Jl. Kebon Agung No. 112, Singosari	20	20
Total		198	195

Tabel 2. Kuantitas *delivery* dan *pickup* tiap toko ritel pada 8 Mei 2018

Toko ritel	Lokasi	<i>Delivery</i>	<i>Pickup</i>
T5	Jl.Tumapel Barat No. 151, Singosari	35	35
T7	Jl. Mondoroko Raya, B2 No. 25, Singosari	20	19
T8	Jl. Mondoroko Raya, B2 No. 29, Singosari	25	25
T11	Jl. Kembang No. 29, Singosari	25	25
T15	Jl. Rogonoto No. 65, Singosari	10	9
T16	Jl. Rogonoto No. 109, Singosari	20	20
T17	Jl. Suropati No. 6, Singosari	30	28
T27	Jl. Rogonoto Timur No. 192, Singosari	20	20
Total		185	181

Tabel 3. Kuantitas *delivery* dan *pickup* tiap toko ritel pada 9 Mei 2018

Toko ritel	Lokasi	<i>Delivery</i>	<i>Pickup</i>
T3	Jl. Raya Tumapel, No. 97, Singosari	20	20
T4	Jl. Raya Tumapel, No. 112, Singosari	15	15
T10	Jl. Tohjoyo Gg I No. 129, Singosari	10	10
T18	Jl. Kadipaten No. 151, Singosari	30	30
T19	Jl. Wisnuwardana No. 7, Singosari	13	13
T20	Jl. Kertanegara No. 49, Singosari	20	20
T21	Jl. Kertanegara No. 6, Singosari	18	17
T22	Jl. Empu Purwo No. 291, Singosari	10	10
T23	Jl. Tunggul Ametung No. 175, Singosari	19	19
T24	Jl. Jendral Ahmad Yani No. 125, Singosari	20	20
T26	Jl. Rogonoto Timur No. 208, Singosari	25	25
Total		200	199

memiliki satu kendaraan, setiap toko ritel telah memiliki jadwal kunjungan tertentu. Tabel 1 sampai dengan Tabel 3 menunjukkan toko ritel yang dikunjungi pada tanggal 7-9 Mei 2018 beserta kuantitas LPG yang harus dikirim (*delivery*) dan diambil (*pickup*). Pada tanggal 7-9 Mei 2018 terdapat 12, 8, dan 11 toko ritel yang harus

dikunjungi.

Penentuan Rute Tanggal 7 Mei 2018

Berdasarkan data pada Tabel 1, penentuan solusi awal dimulai dengan menghitung $nd(i)$. Selanjutnya pengelompokan dimulai dengan toko ritel yang mempunyai $nd(i) \leq 0$ terlebih dahulu

kemudian baru mengunjungi toko ritel yang mempunyai $nd(i) > 0$ dengan syarat tidak melanggar kapasitas kendaraan. Selanjutnya menggunakan *move neighbourhood* dengan *2-Opt* untuk mendapat rute yang meminimumkan jarak tempuh. Solusi awal terbentuk 2 grup rute seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Solusi rute awal pada 7 Mei 2018

Grup	Rute	Pick up	Deli-very	Jarak (Km)
1	0,29,28,14,25,0	54	54	9,94
2	0,12,11,5,6,2,1,9, 13,0	141	144	6,27
Total jarak				16,21

Berdasarkan solusi awal yang diperoleh, langkah satu adalah pencarian solusi *neighborhood* dari solusi sebelumnya dengan menggunakan *inter-movement route (relocation, interchange, dan cross-over)* dan *intra-movement route (2-opt)*. Pencarian *neighborhood* memakai *best admissible solution* berdasarkan *move value* terbesar. Pada langkah ini dilakukan 5 iterasi sesuai dengan jumlah iterasi yang ditetapkan sebelumnya. Pada langkah 1 iterasi 1, *move* terbaik yang dipilih yaitu relokasi dengan *move value* sebesar 0,84. Rute baru terbentuk dengan menghilangkan sisi (12,11), (11,5), (25,0), dan menambahkan sisi (12,5), (25,11), (11,0). Solusi pada langkah 1 iterasi 1 terlihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Solusi langkah 1 iterasi 1 pada 7 Mei 2018

Grup	Rute	Pick up	Deli-very	Jarak (Km)
1	0,12,5,6,2,1,9,13,0	116	119	6,27
2	0,29,28,14,25,11,0	79	79	9,12
Total jarak				15,39

Update tabu list, sisi yang dihilangkan (12,11), (11,5), (25,0) dengan nilai *tabu tenure* 3. Sedangkan sisi yang ditambahkan adalah (12,5), (25,11), (11,0) dengan nilai *tabu tenure* 2. Solusi pada langkah 1 iterasi 1 lebih baik daripada solusi awal pada langkah 0, sehingga solusi awal diganti dengan solusi yang terdapat pada langkah 1 iterasi 1.

Pada langkah 1 iterasi 2, *move* terbaik yang dipilih yaitu relokasi *move value* sebesar 1. Rute

baru terbentuk dengan menghilangkan sisi (0,12), (12,5), (11,0), dan menambahkan sisi (0,5) (11,12), (12,0). Cek status *tabu*, (12,5) dan sisi (12,11) bersifat *tabu* aktif karena terdapat pada *tabu list*. Selanjutnya cek kriteria aspirasi, karena solusi iterasi 2 lebih baik daripada solusi pada iterasi 1 maka kriteria aspirasi terpenuhi, sehingga status *tabu* dapat dilanggar. Solusi pada langkah 1 iterasi 2 dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Solusi langkah 1 iterasi 2 pada 7 Mei 2018

Grup	Rute	Pick up	Deli-very	Jarak (Km)
1	0,5,6,2,1,9,13,0	101	104	4,82
2	0,29,28,14,25,12,11,0	94	94	9,32
Total jarak				14,14

Update tabu list, sisi yang dihilangkan (12,11), (11,5), (25,0) dengan nilai *tabu tenure* 2 dan (0,12), (12,5), (11,0) dengan nilai *tabu tenure* 3. Sedangkan sisi yang ditambahkan (12,5), (25,11), (11,0) dengan nilai *tabu tenure* 1 dan (0,5), (11,12), (12,0) dengan nilai *tabu tenure* 2. Solusi pada langkah 1 iterasi 2 lebih baik daripada solusi pada iterasi 1, sehingga solusi iterasi 1 diganti dengan solusi yang terdapat pada iterasi 2.

Pada langkah 1 iterasi 3, *move* terbaik yang dipilih yaitu relokasi dengan *move value* sebesar 0,65. Rute baru terbentuk dengan menghilangkan sisi (9,13), (13,0), (0,29), dan menambahkan sisi (9,0), (0,13), (13,29). Cek status *tabu*, semua sisi diatas tidak bersifat *tabu* aktif sehingga sisi dapat digunakan pada iterasi saat ini. Status muatan kendaraan juga tidak dilanggar sehingga sisi dapat digunakan. Tabel 7 menunjukkan solusi pada langkah 1 iterasi 3.

Tabel 7. Solusi langkah 1 iterasi 3 pada 7 Mei 2018

Grup	Rute	Pick up	Deli-very	Jarak (Km)
1	0,5,6,2,1,9,0	94	97	3,71
2	0,13,29,28,14,25,12,11,0	101	101	9,78
Total jarak				13,49

Update tabu list, sisi yang dihilangkan (12,11), (11,5), (25,0) dengan nilai *tabu tenure* 1; (0,12), (12,5), (11,0) dengan nilai *tabu tenure* 2; dan (9,13), (13,0), (0,29) dengan nilai *tabu tenure* 3. Sisi yang

ditambahkan (0,5), (11,12), (12,0) dengan nilai *tabu tenure* 1 dan (9,0), (0,13), (13,29) dengan nilai *tabu tenure* 2. Solusi pada iterasi 3 lebih baik daripada solusi pada iterasi 2, sehingga solusi iterasi 2 diganti dengan solusi yang terdapat pada iterasi 3.

Pada langkah 1 iterasi 4, *move* terbaik yang dipilih yaitu menggunakan *2-Opt* dengan nilai *move value* sebesar 0,47. Rute terbentuk baru dengan menghilangkan sisi (0,5), (1,9) dan menambahkan sisi (0,1), (5,9). Cek status *tabu*, semua sisi diatas tidak bersifat *tabu* aktif sehingga sisi dapat digunakan pada iterasi saat ini. Status muatan kendaraan juga tidak dilanggar sehingga sisi dapat digunakan. Solusi pada iterasi 4 ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Solusi langkah 1 iterasi 4 pada 7 Mei 2018

Grup	Rute	Pick up	Deli- very	Jarak (Km)
1	0,1,2,6,5,9,0	94	97	3,24
2	0,13,29,28,14,25,12,11,0	101	101	9,78
Total jarak				13,02

Update tabu list, sisi yang dihilangkan (0,12), (12,5), (11,0) dengan nilai *tabu tenure* 1; (9,13), (13,0), (0,29) dengan nilai *tabu tenure* 2; (0,5), (1,9) dengan nilai *tabu tenure* 3. Sedangkan sisi yang ditambahkan (9,0), (0,13), (13,29) dengan nilai *tabu tenure* 1 dan (0,1), (5,9) dengan nilai *tabu tenure* 2. Solusi pada langkah 1 iterasi 4 lebih baik daripada solusi pada iterasi 3, sehingga solusi iterasi 3 diganti dengan solusi yang terdapat pada iterasi 4.

Pada langkah 1 iterasi 5, *move* terbaik yang dipilih yaitu *crossover* dengan *move value* sebesar -1. Rute baru terbentuk dengan menghilangkan sisi (2,6), (14,25) dan menambahkan sisi (2,25), (14,6). Selanjutnya status *tabu* diperiksa, semua sisi diatas tidak bersifat *tabu* aktif sehingga sisi dapat digunakan pada iterasi saat ini. Status muatan juga tidak dilanggar sehingga sisi dapat digunakan. Tabel 9 menunjukkan solusi pada langkah 1 iterasi 5.

Update tabu list, sisi yang dihilangkan (9,13), (13,0), (0,29) dengan nilai *tabu tenure* 1; (0,5), (1,9) dengan nilai *tabu tenure* 2; dan (2,6), (14,25) dengan nilai *tabu tenure* 3. Sedangkan sisi yang ditambahkan (0,1), (5,9) dengan nilai *tabu tenure* 1 dan (2,25), (14,6) dengan nilai *tabu tenure* 2.

Solusi pada iterasi 5 tidak lebih baik daripada solusi pada iterasi 4, sehingga solusi tidak diganti. Solusi terbaik masih menggunakan solusi dari iterasi 4.

Tabel 9. Solusi langkah 1 iterasi 5 pada 7 Mei 2018

Grup	Rute	Pick up	Deli- very	Jarak (Km)
1	0,1,2, 25,12,11,0	92	93	6,66
2	0,13,29,28,14, 6,5,9,0	103	105	7,83
Total jarak				14,49

Langkah 1 atau fase awal mulai dari iterasi 1 sampai 5 telah selesai sehingga pencarian solusi dilanjutkan pada langkah 2 atau fase intensifikasi. *Input* yang digunakan pada fase ini diperoleh dari solusi terbaik pada langkah sebelumnya. Prosedur pencarian menggunakan prosedur intensifikasi, *move* yang akan dipilih adalah *move* yang mempunyai nilai *eco move*_i terbesar (Idaman, 2013). *Move* terbaik yang dipilih yaitu relokasi dengan nilai *eco move*_i sebesar -1,79. Rute baru terbentuk dengan menghilangkan sisi (5,9), (9,0), (13,29), dan menambahkan sisi (5,0), (13,9), (9,29). Selanjutnya memeriksa status *tabu*, semua sisi diatas tidak bersifat *tabu* aktif sehingga sisi dapat digunakan pada iterasi saat ini. Solusi fase intensifikasi (langkah 2) dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Solusi fase intensifikasi pada 7 Mei 2018

Grup	Rute	Pick up	Deli- Very	Jarak (Km)
1	0,1,2,6,5,0	86	87	2,58
2	0,13,9,29,28,14,25,12,11,0	109	111	12,23
Total jarak				14,81

Update tabu list, sisi yang dihilangkan (2,6), (14,25) dengan nilai *tabu tenure* 1 dan (5,9), (9,0), (13,29) dengan nilai *tabu tenure* 2. Sisi yang ditambahkan (5,0), (13,9), (9,29) dengan nilai *tabu tenure* 2. Solusi pada fase intensifikasi akan menjadi input pada fase diversifikasi.

Pada fase diversifikasi, prosedur pencarian menggunakan prosedur diversifikasi, *move* yang akan dipilih adalah *move* yang mempunyai nilai *eco move*_d terbesar (Montane dan Galvao, 2006). *Move* terbaik yang dipilih yaitu *interchange*

dengan nilai *eco move_d* sebesar 38,29. Rute baru terbentuk dengan menghilangkan sisi (0,1), (1,2), (29,28), (28,14) dan menambahkan (0,28), (28,2), (29,1), (1,4). Selanjutnya status *tabu* diperiksa, semua sisi diatas tidak bersifat *tabu* aktif sehingga sisi dapat digunakan pada iterasi saat ini. Tabel 11 menunjukkan solusi diversifikasi.

Tabel 11. Solusi fase diversifikasi pada 7 Mei 2018

Grup	Rute	Pick up	Deliver	Jarak (Km)
1	0,28,2,6,5,0	79	79	7,23
2	0,13,9,29,1,14,25,12,11,0	116	119	12,54
Total jarak				19,77

Update tabu list, sisi yang dihilangkan (5,9), (9,0), (13,29) dengan nilai *tabu tenure 2* dan (0,1), (1,2), (29,28), 28,14) dengan nilai *tabu tenure 3*. Sisi yang ditambahkan (5,0), (13,9) (9,29) dengan nilai *tabu tenure 1* dan (0,28), (28,2), (29,1), (1,14) dengan nilai *tabu tenure 2*. Solusi pada fase diversifikasi akan digunakan pada fase standar.

Pada fase standar ulangi prosedur pencarian rute dengan *tabu search* seperti pada fase awal. Pada fase ini akan dilakukan sebanyak 3 iterasi, dengan *input* solusi dari fase diversifikasi. Fase ini dilakukan hingga 3 iterasi. Pada fase standar iterasi 1, *move* terbaik yang dipilih yaitu 2-*Opt* dengan nilai *move value* sebesar 2,15. Tentukan rute baru dengan menghilangkan sisi (9,29), (1,14) dan menambahkan sisi (9,1), (29, 14). Cek status *tabu*, sisi (9,29), dan sisi (1,14) bersifat *tabu* aktif, cek apakah solusi lebih baik dari solusi diversifikasi. Solusi yang didapat lebih baik daripada solusi yang diperoleh pada fase diversifikasi, kriteria aspirasi terpenuhi sehingga sisi dapat digunakan pada iterasi saat ini. Status muatan juga tidak dilanggar sehingga sisi dapat digunakan. Solusi pada fase standar iterasi 1 ditunjukkan pada Tabel 12.

Update tabu list, sisi yang dihilangkan (5,9), (9,0), (13,29) dengan nilai *tabu tenure 1*; (0,1), (1,2), (29,28), 28,14) dengan nilai *tabu tenure 2*; dan (9,29), (1,14) dengan nilai *tabu tenure 3*. Sisi yang ditambahkan (0,28), (28,2), (29,1), (1,14) dengan nilai *tabu tenure 1* dan (9,1), (29,14) dengan nilai

tabu tenure 2. Solusi pada iterasi 1 fase standar lebih baik dari fase diversifikasi. Lakukan prosedur yang sama hingga iterasi ke-3.

Tabel 12. Solusi fase standar iterasi 1 pada 7 Mei 2018

Grup	Rute	Pick up	Deliver	Jarak (Km)
1	0,28,2,6,5,0	79	79	7,23
2	0,13,9,1,29,14,25,12,11,0	116	119	10,39
Total jarak				17,62

Fase terakhir adalah fase interaktif, pada fase ini iterasi diulangi dari fase awal, fase intensifikasi, fase diversifikasi dan fase standar. Fase-fase tersebut dapat dilakukan hingga salah satu kriteria pemberhentian telah tercapai. Dengan menggunakan kriteria penghentian yang tercapai adalah maksimum iterasi pada tiap fase, diperoleh solusi pada seluruh fase untuk menyelesaikan penentuan rute pada tanggal 7 Mei 2018 ditunjukkan pada Tabel 13. Dari tabel 13 dapat dilihat rute terbaik dengan total jarak sebesar 13,02 Km diperoleh pada fase awal iterasi 4.

Penentuan Rute Pada 8 Mei 2018

Penentuan rute dilakukan dengan prosedur yang sama dengan tanggal 7 Mei 2018. Dengan menggunakan kriteria penghentian yang tercapai adalah maksimum iterasi pada tiap fase, diperoleh solusi pada seluruh fase untuk menyelesaikan penentuan rute pada tanggal 8 Mei 2018 ditunjukkan pada Tabel 14. Dari tabel 14 dapat dilihat rute terbaik dengan total jarak sebesar 11,58 Km diperoleh pada fase interaktif iterasi 3.

Penentuan Rute pada 9 Mei 2018

Penentuan rute dilakukan dengan prosedur yang sama dengan tanggal 7 Mei 2018. Dengan menggunakan kriteria penghentian yang tercapai adalah maksimum iterasi pada tiap fase, diperoleh solusi pada seluruh fase untuk menyelesaikan penentuan rute pada 9 Mei 2018 ditunjukkan pada Tabel 15. Dari Tabel 15 dapat dilihat rute terbaik dengan total jarak sebesar 13,08 km diperoleh pada fase intensifikasi iterasi 1.

Tabel 13. Solusi rute per langkah dengan *tabu search* pada 7 Mei 2018

Langkah dan Fase	Iterasi ke	Rute	Jarak (Km)	Total Jarak (Km)
Langkah 0 (solusi awal)	1	0-29-28-14- 25- 0	9,94	16,21
		0- 12- 11- 5- 6- 2- 1- 9- 13- 0	6,27	
Langkah 1 (fase awal)	1	0- 12- 5- 6- 2- 1- 9- 13- 0	6,27	15,39
		0- 29- 28- 14- 25- 11- 0	9,12	
	2	0- 5- 6- 2- 1- 9- 13- 0	4,82	14,14
		0- 29- 28- 14- 25- 12- 11- 0	9,32	
	3	0- 5- 6- 2- 1- 9- 0	3,71	13,49
		0- 13- 29- 28- 14- 25- 12- 11- 0	9,78	
4	4	0- 1- 2- 6- 5- 9- 0	3,24	13,02
		0- 13- 29- 28- 14- 25- 12- 11- 0	9,78	
5	5	0- 1- 2- 25- 12- 11- 0	6,66	14,49
		0- 13- 29- 28- 14- 6- 5- 9- 0	7,83	
Langkah 2 (fase intensifikasi)	1	0- 1- 2- 6- 5- 0	2,58	14,81
		0-13-9- 29- 28- 14-25- 12-11- 0	12,23	
Langkah 3 (fase diversifikasi)	1	0- 28- 2- 6- 5- 0	7,23	19,77
		0-13- 9- 29-1- 14- 25- 12- 11- 0	12,54	
Langkah 4 (fase standar)	1	0- 28- 2- 6- 5- 0	7,23	17,62
		0-13- 9-1- 29- 14- 25- 12- 11- 0	10,39	
	2	0- 28- 29- 14- 25- 12- 11- 0	9,29	14,11
		0- 13- 9- 1- 2- 6- 5- 0	4,8	
	3	0- 28- 29- 14- 25- 12- 1- 0	8,91	15,51
		0- 13- 9- 11- 2- 6- 5- 0	6,6	
Langkah 5 (fase interaktif)	1	0-29-28-14-25-12-1-0	9,4	16
		0-13-9-11-2-6-5-0	6,6	
	2	0-29-28-14-6-12-1-0	8,33	19,35
		0-13-9-11-2-25-5-0	11,02	
	3	0-29-28-14-6-1-0	6,39	19,08
		0-13-9-11-2-25-5-0	12,69	

Tabel 14. Solusi per langkah dengan *tabu search* pada 8 Mei 2018

Langkah dan Fase	Iterasi ke	Rute	Jarak (Km)	Total Jarak (Km)
Langkah 0 (solusi awal)	1	0-27-16-15-17-5-11-0	9,17	11,66
		0-7-8-0	2,49	
Langkah 1 (fase awal)	1	0-15-16-27-17-5-11-0	9,09	11,58
		0-7-8-0	2,49	
	2	0-15-16-27-17-11-5-0	9,11	11,6
		0-7-8-0	2,49	
	3	0-15-5-17-27-16-11-0	13,53	16,02
		0-7-8-0	2,49	
	4	0-16-15-27-17-5-11-0	12,05	13,58
		0-7-8-0	2,49	
5	0-15-5-17-27-16-11-0	13,53	16,02	
	0-7-8-0	2,49		
Langkah 2 (fase intensifikasi)	1	0-15-17-27-16-5-0	10,55	13,04
		0-7-8-0	2,49	
Langkah 3 (fase diversifikasi)	1	0-15-17-27-8-0	9,86	19,44
		0-7-16-5-11-0	9,58	
Langkah 4 (fase standar)	1	0-15-17-7-8-0	7,63	15,48
		0-27-16-5-11-0	7,85	
	2	0-15-17-7-8-0	7,63	15,4
		0-16-27-5-11-0	7,77	
	3	0-17-7-8-0	6,33	14,1
		0-15-16-27-5-11-0	7,77	
Langkah 5 (fase interaktif)	1	0-7-8-0	2,49	11,58
		0-15-16-27-17-5-11-0	9,09	
	2	0-7-5-0	4,41	17,25
		0-15-16-27-17-8-11-0	12,84	
	3	0-7-8-0	2,49	11,58
		0-15-16-27-17-5-11-0	9,09	

Tabel 15. Solusi per langkah dengan *tabu search* pada 9 Mei 2018

Langkah dan Fase	Iterasi ke	Rute	Jarak (Km)	Total Jarak (Km)
Langkah 0 (solusi awal)	1	0-10-3-4-18-20-19-21-23-0	6,74	16,55
		0-26-22-24-0	6,81	
	1	0-10-3-4-18-19-21-23-0	5,86	15,59
		0-26-22-24-20-0	9,73	
Langkah 1 (fase awal)	2	0-10-3-4-18-19-21-20-0	4,75	15,59
		0-26-22-24-23-0	10,3	
	3	0-10-3-4-18-19-21-0	4,41	14,88
		0-20-26-22-24-23-0	10,57	
	4	0-10-3-4-18-19-21-0	4,41	13,92
0-20-26-24-22-23-0		9,51		
Langkah 2 (fase intensifikasi)	5	0-10-3-4-18-24-22-23-0	6,92	13,34
		0-20-26-19-21-0	6,42	
		0-10-3-4-18-24-22-23-0	6,92	
Langkah 3 (fase diversifikasi)	1	0-26-20-19-21-0	6,16	13,08
		0-10-21-4-18-24-22-23-0	8,17	
Langkah 4 (fase standar)	1	0-26-20-19-3-0	6,25	14,42
		0-10-21-4-3-0	3,43	
	2	0-26-20-19-18-24-22-23-0	9,67	13,1
		0-10-21-4-3-0	3,43	
Langkah 5 (fase interaktif)	2	0-26-20-18-19-24-22-23-0	10,37	13,8
		0-10-21-22-23-0	4,01	
	3	0-26-20-19-18-24-4-3-0	9,15	13,16
0-10-21-4-3-0		3,41		
0-26-20-19-18-24-22-23-0		9,67		
Langkah 5 (fase interaktif)	2	0-10-21-26-3-0	7,17	15,07
		0-4-20-19-18-24-22-23-0	7,9	
	3	0-10-21-4-3-0	3,43	13,1
		0-26-20-19-18-24-22-23-0	9,67	

Tabel 16. Perbandingan rute perusahaan dengan rute usulan

Tanggal	Rute		Jarak (km)		Biaya transportasi (Rp)	
	Awal	Usulan	Awal	Usulan	Awal	Usulan
7 Mei	0-1-2-9-5-6-11-12-13-0	0-1-2-6-5-9-0	7,36	3,24	81.203	52.989
	0-14-28-25-29-0	0-13-29-28-14-25-12-11-0	13,85	9,78	50.107	65.394
8 Mei	0-7-8-5-11-17-15-0	0-7-8-0	10,22	2,49	86.586	25.633
	0-16-27-0	0-15-16-27-17-5-11-0	4,84	9,09	27.722	65.604
9 Mei	0-3-4-21-20-19-18-23-22-0	0-10-3-4-18-24-22-23-0	8,73	6,92	84.548	71.511
	0-10-24-26-0	0-26-20-19-21-0	9,46	6,16	42.893	46.908
Total			54,46	37,08	373.059	328.039

Perbandingan Rute Awal Perusahaan dengan Rute Usulan

Perbandingan jarak tempuh dan biaya transportasi pada rute awal perusahaan dengan rute usulan dapat dilihat pada Tabel 16. Dari hasil perbandingan pada Tabel 16, diperoleh selisih jarak tempuh antara rute perusahaan dengan usulan sebesar 17,38 Km atau 46,87%. Total biaya transportasi rute perusahaan sebesar Rp 373. 059, sedangkan total biaya transportasi usulan sebesar Rp 328.039. Diperoleh selisih biaya transportasi sebesar Rp 45.020 dengan kata lain biaya

transportasi rute usulan lebih hemat 13,72 %.

IV. SIMPULAN

Penelitian ini telah mengusulkan algoritma *tabu search* untuk menyelesaikan permasalahan penentuan rute pada pangkalan Agisindo yang termasuk dalam VRPSPD. Dari hasil perbandingan dengan rute awal perusahaan, rute usulan mampu memberikan penghematan jarak tempuh sebesar 46,87% dan penghematan biaya transportasi sebesar 13,72%. Rute usulan lebih baik sehingga

pangkalan dapat mempertimbangkan algoritma *tabu search* sebagai metode penentuan rute. Saran yang bisa diusulkan adalah membuat *software* untuk mempercepat proses perhitungan sehingga algoritma ini bisa diaplikasikan dalam penentuan rute di pangkalan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Malang yang telah mensponsori penelitian ini melalui *Block Grant* Penelitian dan Pengabdian Masyarakat No: 01/P2M-HDL/FT-UMM/ VI /2018.

DAFTAR PUSTAKA

- Bianchessi, N.; Righini, G. (2007). "Heuristic algorithms for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery". *Computers and Operations Research*, Vol. 34 (2), 578 – 594.
- Chen, J; Wu, T. (2006). "Vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup". *Journal of Operational Research Society*, Vol. 57 (5), 579 – 587.
- Crispim, J.; Brandao, J. (2005). "Metaheuristics applied to mixed and simultaneous extensions of vehicle routing problems with backhauls". *Journal of Operational Research Society*, Vol. 56 (11), 1296 – 1302.
- Dethloff, J. (2001). "Vehicle routing and reverse logistics: the vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up". *OR Spektrum*, Vol. 23, 79 – 96.
- Fard, M.; Akbari, M. (2013). "A hybrid tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery and maximum tour time length". *African Journal of Business Management*, Vol. 7(11), 801 – 810.
- Glover, F. (1989). "Tabu search part I", *ORSA Journal on Computing*, Vol. 1 (3), 190 – 206.
- Hedar, A.; Bakr, M. (2014). "Three strategies tabu search for vehicle routing problem with time windows", *Computer Science and Information Technology*, Vol. 2(2), 108 – 119.
- Idaman, S. (2013). *Penyelesaian Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pick-up and Delivery Service Menggunakan Algoritma Tabu Search*. Skripsi. Bogor: Departemen Matematika, Institut Pertanian Bogor.
- Min H. (1989). "The multiple vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup points". *Transportation Research Part A*, Vol. 5, 377 – 386.
- Montane, F.; Galvao, R. (2006). "A tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pick-up and delivery service". *Computers and Operations Research*, Vol. 33 (3), 595 – 619.
- Nagy, G.; Salhi, S. (2005). "Heuristics algorithm for single and multiple depot vehicle routing problems with pickup and deliveries". *European Journal of Operational Research*, Vol. 33 (3), 595 – 619.
- Phannikul, T.; Sindhuchao, S. (2010). "A customized tabu search for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery". *Thammasat International Journal of Science and Technology*, Vol. 15 (2),
- Salhi, S.; Nagy, G. (1999). "A cluster insertion heuristic for single and multiple depot vehicle routing problems with backhauling". *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 50, 1034 – 1042.
- Wassan, N.; Wassan, A.; Nagy, G. (2008). "A reactive tabu search algorithm for the vehicle routing problem with simultaneous pickups and deliveries". *Journal of Combinatorial Optimization*, Vol. 15, 368 – 386.
- Zachariadis, E.; Tarantilis, C.; Kiranoudis, C. (2009). "A hybrid metaheuristic algorithm for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up service". *Expert System with Applications*, Vol. 36, 1070 – 1081.