

ANALISA RUTE PENJEMPUTAN TANDAN BUAH SEGAR KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN METODE *ANT COLONY*

Harison⁹, Marimin¹⁰, Sukardi¹¹, Faqih Udin¹², Yani Hendriyani¹³

Email Korespondensi: harisonathar@gmail.com

Abstrak: Petani sawit di Indonesia mencapai 10 juta kepala keluarga. Kebun kelapa sawit lebih dari 50 % luas lahan yang ada dikelola oleh petani swadaya. Hasil panen tandan buah Segar kelapa sawit biasanya Akan dibeli oleh pedagang kecil dan pedagang besar yang berkeliling setiap hari pada wilayah kebun kebun kelapa sawit petani swadaya. Permasalahan yang sering terjadi kurang optimalnya hasil pembelian yang dilakukan oleh setiap kendaraan yang berkeliling membeli TBS, hal ini disebabkan, naik turunnya hasil panen petani, didahului oleh pedagang lain, penuh kapasitas kendaraan, penjemputan yang terlalu jauh. Akibatnya ada beberapa pelanggan yang tercecer atau tidak terbeli hasil panennya. Penelitian ini menggunakan metode *capacitated verchichle routing problem* dengan algoritma *Ant colony*. Hasil perhitungan algoritma *Ant colony* memberikan hasil yang cukup baik dari sisi rata-rata kapasitas angkut truk yang merata, jumlah truk penjemputan yang lebih sedikit, total jarak tempuh yang lebih pendek. Dibandingkan dari hasil penjemputan secara manual.

Kata kunci: kelapa sawit, tandan buah segar, penjemputan, kapasitas, *ant colony*

Abstract: Oil palm farmers in Indonesia reach 10 million households. The cultivation of oil palm plantations is more than 50% of the existing land area managed by independent smallholders. The harvested fresh fruit bunches of oil palm will usually be purchased by small traders and wholesalers who go around every day in the oil palm plantation area of independent smallholders. The problem that often occurs is that the results of purchases made by each vehicle that goes around buying FFB are caused, the ups and downs of farmers' harvests, preceded by other traders, full vehicle capacity, pick ups that are too far away. As a result there are some customers who are scattered or not bought their crops. This research uses the *capacitated verchichle routing problem* method with the *Ant colony* algorithm. The results of the calculation of the *Ant colony* algorithm give quite good results in terms of the average truck carrying capacity, fewer pick-up trucks, shorter total mileage. Compared to the results of picking up manually.

Keywords: oil palm, fresh fruit bunches, pick up, capacity, *ant colony*

⁹ Dosen Program Studi Teknik Industri Informatika, Institut Teknologi Padang.

^{10,11,12} Dosen Program Studi Teknik Industri Pertanian, IPB University.

¹³ Dosen Program Studi Ilmu Komputer, IPB University.

PENDAHULUAN

Kelapa sawit adalah komoditas tanaman penting bagi negara Indonesia karena memberikan devisa terbesar di bidang Perkebunan (Ulfiah *et al.* 2018). Kelapa sawit menjadi mata pencarian sebagian besar petani di Indonesia (High Carbon Stock 2015). Minyak kelapa sawit termurah diantara minyak nabati lainnya namun kandungan vitamin tetap tinggi menjadi pilihan bagi Negara lain untuk memenuhi kebutuhan minyak nabati (Singh 2014). Dengan biaya produksi yang lebih rendah (Zimmer 2010). Indonesia menjadi Negara produksi minyak kelapa sawit no 1 di dunia (Agnes C Sequino dan Avenido 2015).

Minyak kelapa sawit diperkirakan akan kelebihan permintaan dari pada produksi untuk masa akan (Nurkholis dan Sitanggang 2020). Apalagi dengan kebutuhan minyak nasional yang

tidak sebanding dengan produksi pemerintah mencari solusi penggunaan kelapa sawit sebagai bahan baku biodiesel (Sembiring *et al.* 2015).

Produksi kelapa sawit nasional 31.730.961 Ton/Thn, Pulau Sumatra merupakan penghasil produksi terbesar (Hadiguna dan Khotimah 2013), wilayah Sumatra barat dengan produksi kelapa sawit dengan total produksi 1.183.058 Ton/Tahun dengan total produksi di wilayah sumatra 19.856.284 ton/thn. Sumatra barat menempati peringkat 9 secara nasional dan peringkat 5 dari 10 provinsi yang ada di sumatra. Dari 15 kabupaten dan kota baru 12 yang sudah panen karena 3 kabupaten lagi masih dalam masa pertumbuhan atau baru memulai penanaman. Jumlah petani kelapa sawit di sumatra barat termasuk yang terbanyak dari 10 provinsi di sumatra yaitu 121.894 orang (Dirjen Perkebunan 2017).

Hal ini disebabkan oleh penguasaan lahan perkebunan lebih di dominan oleh penduduk

setempat atau dengan istilah lain adalah tanah kaum atau tanah adat. Maka penduduk setempat lebih terprioritas dalam mengusahakan lahan mereka untuk dijadikan kebun sawit didukung dengan adanya kebun kebun swasta yang membuka lahan dan sekaligus mendirikan pabrik. Praktik perkebunan kelapa sawit juga berperan dalam meningkatkan perekonomian rumah tangga dan perekonomian daerah (Rudor 2012). Hal ini dibuktikan dengan semakin baiknya pembangunan daerah daerah yang menjadi tempat produksi kelapa sawit dan dari segi pembangunan meninggalkan kota yang selama ini maju. Hal ini bisa dilihat dari kabupaten kota yang ada di Sumatera Barat. Perkebunan kelapa sawit mampu meningkatkan kesejahteraan petani setempat dan dengan adanya perusahaan kelapa sawit komersial dapat memperbaiki status sosial-ekonomi sebagian besar penduduk pedesaan (Muryunika 2015).

Besarnya luas lahan yang dimiliki oleh rakyat maka hasil Tandan Buah Segar kelapa sawit tidak dapat di prediksi karena setiap petani melakukan standar perawatan yang berbeda maka ini akan berpengaruh kepada harga TBS yang akan meraka jual (*Ismail*). Pada tabel 1 ini di rincikan jumlah lahan, produksi dan petani yang ada di Sumatera Barat.

Tabel 1. Luas area petani kelapa sawit swadaya

| Kabupaten | Luas area (Ha) | Produksi Ton | Produktivitas (kg/Ha) | Jumlah Petani |
|----------------------------|----------------|----------------|-----------------------|----------------|
| Pesisir | | | | |
| Kab. Selatan | 22.479 | 39.103 | 2.654 | 31.914 |
| Kab. Solok | 29 | 27 | 3.000 | 13 |
| Kab. Sijunjung Tanah Datar | 11.295 | 26.549 | 3.024 | 7.740 |
| Kab. Padang | - | - | - | - |
| Kab. Pariaman | 1.490 | 3.451 | 3.420 | 3.708 |
| Kab. Agam | 19.170 | 40.279 | 2.495 | 17.635 |
| Kab. Limapuluh Kota | 2.859 | 7.760 | 2.912 | 701 |
| Kab. Pasaman Solok | 3.729 | 7.675 | 3.027 | 2.591 |
| Kab. Selatan Dhamas | 4.709 | 9.517 | 2.936 | 1.280 |
| Kab. Raya Pasaman | 30.704 | 78.242 | 2.809 | 28.983 |
| Kab. Barat | 97.311 | 246.992 | 3.040 | 87.054 |
| Kota Padang | 7 | 6 | 857 | 9 |
| Kota Solok | 9 | 20 | 4.000 | 12 |
| Kota Sawahlunto | 239 | 144 | 2.260 | 106 |
| Kota Pariaman | 59 | 29 | 695 | 75 |
| Provinsi | 194.089 | 459.793 | 2.904 | 181.821 |

Sumber : Direktorat Jenderal Perkebunan 2017

Hasil obesrvasi penelitian terlihat saat ini di sumatra barat adalah sering terjadinya hilir mudik transportasi

kelapa sawit untuk mengantarkan Tandan buah segar/ TBS ke berbagai wilayah yang ada di sumatra barat. Hal ini disebabkan oleh lebih luasnya kepemilikan lahan rakyat dibandingkan swasta. Kepemilikan pabrik lebih dominan dimiliki oleh swasta, tentunya hasil panen rakyat akan bermuara ke pabrik swasta. Jarak kebun milik rakyat dengan pabrik ada yang dekat ada yang jauh hingga 50 km, bagi mereka yang mempunyai kendaraan maka mampu untuk mengantarkan ke pabrik dan bagi mereka yang tidak mempunyai kendaraan tentunya akan bergabung dalam koperasi atau hal ini juga menjadi peluang bagi para pengepul untuk membeli hasil panen rakyat dan baru menjual ke pabrik yang mau membeli dengan nilai tinggi.

Transportasi memegang peranan penting untuk memasok tandan buah segar (TBS), salah satu sumber daya yang dibutuhkan dalam menghasilkan TBS yang berkualitas ke PKS (Hudori 2016). Ketidakpastian jumlah panen mengakibatkan adanya keterlambatan pengangkutan tandan buah segar (TBS) yang tidak muat oleh truk (Martariza 2011). Kendala yang dihadapi tranportasi panen adalah rendahnya produktifitas unit tranportasi, terjadinya kekosongan waktu penerimaan buah dan kondisi jalan yang kurang baik (Anugrah dan Wachjar 2018). Pemilihan transportasi truk yang tepat dalam pengangkutan akan memberikan penghematan terhadap perusahaan (Atikah dan Sutopo 2014). Perlunya perencanaan dan evaluasi yang baik dalam upaya mengoptimalkan waktu transportasi tandan buah segar (TBS) dan minimalisir biaya transportasi yang dikeluarkan dengan mempertimbangkan interval waktu tidak lebih 24 jam, kapasitas Truk, jarak tempuh dan kondisi jalan (Adilasri 2015).

Optimasi transportasi tandan buah segar kelapa sawit akan memberikan keuntungan berupa efesiensi sumber daya, penjagaan mutu dan peningkatan produktifitas (Randa 2011). Optimalisasi pengiriman barang membantu mencari rute pengiriman barang yang optimal dan memaksimalkan kapasitas muatan barang sehingga berdampak pada biaya dan waktu pengiriman barang yang lebih rendah (Purwadana *et al.* 2018).

Proses penanganan tandang buah segar (TBS) mulai pemanenan, pemuatan dan pengangkutan ke pabrik, proses penanganan ini akan mempengaruhi kaulitas tandan buah segar

(TBS) (Krisdiarto *et al.* 2017). Perlu melakukan optimasi dalam pengadaan tandan buah segar kelapa sawit agar terpenuhi kapasitas pabrik (Bakara 2011). Dengan penerapan analisis optimasi kapasitas dan pemilihan rute dalam penentuan pembelian, penjemputan dan pengantaran tandan buah segar kelapa sawit mampu memberikan efisiensi biaya dan waktu untuk menjaga kualitas kelapa sawit dan peluang mendapatkan TBS yang bagus. Sedangkan untuk efektifitas mengurangi tenaga kerja berkeliling mengumpulkan dan menunggu pembeli.

Kondisi petani kelapa sawit yang berpencair tidak satu daerah tertentu membuat waktu antar atau jemput sangat di perhitungkan. Penggunaan metode *ant colony* memperhitungkan titik lokasi, jarak dan kapasitas angkut kendaraan dalam memperoleh waktu tempuh yang lebih baik (Gunawan *et al.* 2015). Mencari jalur terpendek dari jalur nyata pada jalan raya (Tenda *et al.* 2014). *Ant colony* memberikan penyelesaian permasalahan transportasi (Takimi 2021). analisa *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) digunakan untuk mengoptimalkan rute distribusi barang dan jasa (Gunawan *et al.* 2012). Penyelesaian permasalahan CVRP dengan tiga perbandingan menggunakan *genetic* algoritma, *Ant colony* dan *Tabu search*, metode *ant colony* memberikan solusi yang lebih baik diantaranya (Rahmat *et al.* 2006). Penggunaan *ant colony* memberikan rute yang lebih baik dari pada rute yang telah ditentukan oleh perusahaan (Soenandi dan Marpaung 2019). Berdasarkan permasalahan dan penelitian yang sudah ada maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisa rute penjemputan tandan buah segar kelapa sawit dengan metode *ant colony* (studi kasus Kabupaten Dharmasraya-Sumatra Barat).

METODE PENELITIAN

Pada analisa Analisa rute penjemputan tandan buah segar kelapa sawit menggunakan metode *ant colony*, data diperoleh dari hasil observasi langsung ke lapangan. Data yang didapat dilapangan diolah secara manual dan dihitung sesuai sketsa, perhitungan manual akan menjadi pembanding dari hasil menggunakan metode *ant colony* nantinya.

A. Lokasi Penelitian

Lokasi Penelitian berada di Kabupaten Dharmasraya, Sumatra Barat, Indonesia. Pada salah satu kecamatan di kabupaten Dharmasraya yaitu nya Kecamatan Pulau Punjung. Pada wilayah kecamatan ini berdiri satu perusahaan pengolah kelapa sawit yang bernama PT. xx sawit, yang memiliki salah satu mitra dengan penduduk setempat sebagai salah satu pemasok pedagang besar yang mempunyai surat *delivery order* (DO). Pedagang ini khusus memasok tandan buah segar kelapa sawit yang mereka beli pada wilayah sekitar kabupaten dharmasraya. Rata rata pasokan tandan buah segar kelapa sawit yang mereka masukan ke pabrik ini mencapai 4 hingga 10 truk engkel dengan kapasitas 8 ton dengan jumlah rata rata pengiriman setiap hari adalah 60 ton. Untuk melakukan penjemputan tandan buah segar kelapa sawit mereka mempunyai 6 truk milik sendiri. Jika jumlah ketersediaan TBS banyak mereka menyewa truk untuk melakukan penjemputan. Untuk jumlah petani yang menjadi langganan mereka mencapai 300 petani yang berada di wilayah kabupaten Dharmasraya. Setiap hari bisanya mereka mengunjungi 15 hingga 20 petani, untuk di beli hasil panen TBS mereka.

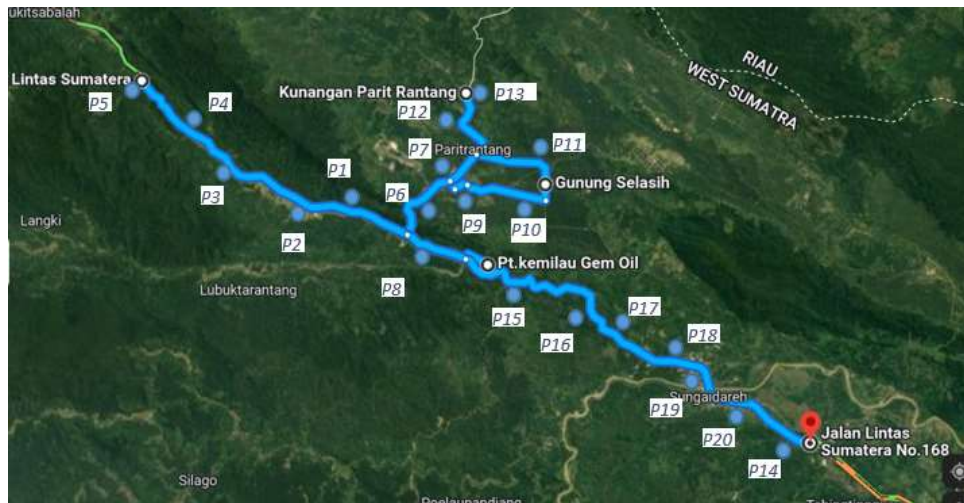
Penjemputan TBS di lakukan dengan melihat jadwal rutin mingguan yang telah di pajang di ruang kerja. Setiap sopir mempunyai rute tersendiri untuk melakukan pembelian dan pengangkutan TBS. Setiap sopir diberi tanggung jawab untuk membeli, menimbang dan mengantarkan TBS ke gudang. Sebelumnya harus melakukan penimbangan mobil kelapa sawit pada lokasi gudang. Setelah itu sopir melaporkan jumlah pembelian mereka pada juragan mereka di kantor dengan membawa hasil timbangan dan penilaian kualitas TBS yang di beli. Setiap sopir yang bekerja pada pedagang ini diberikan kemapuan untuk menilai harga TBS yang dipanen oleh petani, hal ini untuk mengurangi jumlah tenaga kerja dan keterbatasan pemilik DO dalam melakukan pengumpulan TBS. Hal ini disebabkan oleh faktor tuntutan kerja sama dengan pabrik untuk memasukan TBS sebelum jam 12 siang setiap harinya. Jadi pemilik DO sangat sulit untuk menempuh jarak jemput untuk setiap petani yang panen pada setiap harinya. Pada tabel 2 memperlihatkan sebagian rute penjemputan untuk satu hari kerja.

Tabel 2. Jarak antara *stakeholder*

| Petani N | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--------------|----|----|----|-----|----|---|-----|---|---|----|
| TBS/Ton | 3 | 2 | 1 | 2.5 | 4 | 2 | 1.5 | 2 | 1 | 3 |
| Jarak ke PKS | 10 | 13 | 17 | 20 | 23 | 4 | 8 | 2 | 5 | 8 |

| Petani N | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|--------------|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|----|
| TBS/Ton | 3 | 6 | 6 | 5 | 5 | 4 | 2 | 3 | 7 | 2 |
| Jarak ke PKS | 10 | 11 | 15 | 26 | 3.5 | 12 | 15 | 20 | 22 | 24 |

Tabel rute penjemputan dibuat berdasarkan gambar peta penjemputan yang dibuat oleh pemilik DO. Jarak antara petani dengan gudang di analisis sendiri oleh peneliti menggunakan *google maps*. Hal ini disebabkan peta yang dibuat hanya ditandai dengan tinta berwarna sebagai titik titik lokasi penjemputan berdasarkan hari, karna hal kerahasiaan pelanggan, peneliti hanya dibolehkan menyalin peta satu hari kerja penjemputan. Dari hasil salinan tersebut peneliti mendapatkan skeksa rute dan titik titik jemput yang dapat di lihat pada gambar 1.



Gambar 1. Sebaran Sumber TBS dari salah Pabrik

B. Metode Formulasi *Capacitated Vehicle Routing Problem*

Dari data yang diperoleh dan telah digambarkan maka selanjutnya memasukan fungsi tujuan adalah minimasi jarak tempuh yang dihasilkan dari proses pengambilan TBS dari setiap titik lokasi petani hingga kembali menuju depot pengumpulan pabrik PKS.

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in E} c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

Batasan pertama adalah setiap lokasi pengambilan TBS dari petani hanya boleh dikunjungi oleh satu kendaraan sebanyak 1 kali.

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V, i \neq j} x_{ij}^k = 1, \forall j \in V \setminus \{0\} \quad (2)$$

Batasan untuk memastikan bahwa prosedur dimulai dari depot/pabrik PKS.

$$\sum_{j \in V \setminus \{0\}} x_{0j}^k = 1, \forall k \in K \quad (3)$$

Batasan untuk memastikan bahwa jumlah kendaraan yang masuk dan keluar dari lokasi pengambilan TBS adalah sama.

$$\sum_{i \in V, i \neq j} x_{ij}^k - \sum_{i \in V} x_{ji}^k = 0, \forall j \in V, \forall k \in K \quad (4)$$

Batasan jumlah TBS yang diambil oleh masing-masing kendaraan tidak melebihi kapasitas suatu kendaraan.

$$\sum_{i \in V} \sum_{j \in V \setminus \{0, i\}} q_j x_{ij}^k \leq Q, \forall k \in K \quad (5)$$

Batasan untuk mencegah terjadinya *subtour*.

$$\sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in S, i \neq j} x_{ij}^k \leq |S| - 1, S \subseteq V \setminus \{0\} \quad (6)$$

Tipe variabel keputusan adalah biner.

$$x_{ij}^k \in \{1,0\}, \forall k \in K, \forall (i,j) \in E \quad (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penjelasan dari fungsi notasi kedalam permasalahan analisa rute penjemputan dapat di lihat pada tabel 3.

Tabel 3. Notasi penjemputan TBS

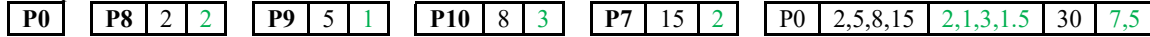
| Notasi | Keterangan |
|---|--|
| $G = (V, E)$ | Graph yang merepresentasikan lokasi dan jalur yang menghubungkan pabrik PKS/depot pengumpulan TBS dengan lokasi-lokasi petani kelapa sawit |
| $V = \{0,1, \dots, n\}$ | Himpunan node. Node merepresentasikan depot/pabrik PKS pengumpulan TBS adalah node ke 0 dan node 1,2,...,n merepresentasikan lokasi/titik pengambilan TBS dari petani kelapa sawit |
| E | Himpunan sisi/edges yang menghubungkan setiap node V dimana $e_{ij} = (i, j)$ |
| $K = \{1,2, \dots, K \}$ | Himpunan kendaraan |
| $d_i \geq 0$ | Jumlah TBS yang ada pada petani i |
| $Q \geq 0$ | Kapasitas maksimum kendaraan (diasumsikan semua kendaraan memiliki kapasitas yang sama yaitu Q) |
| c_{ij} | Biaya perjalanan yang harus dikeluarkan (dalam konteks ini biaya adalah jarak dari masing-masing node yang merepresentasikan lokasi dari petani kelapa sawit) |
| $x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{dipilih} \\ 0 & \text{tidak dipilih} \end{cases}$ | Variabel keputusan yang merepresentasikan apakah kendaraan ke k akan mengambil rute e_{ij} |

A. Matrik perhitungan rute kondisi nyata

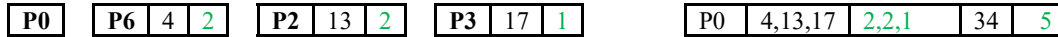
Dari gambar rute penjemputan TBS, pihak yang bertanggung jawab untuk menjemput TBS melakukan penjemputan sesuai dengan jadwal hari dan ketersediaan TBS di lapangan. Akan tetapi sering sekali terjadi, mobil penjemputan tidak penuh karna ketersediaan TBS tidak ditemui dilapangan karena faktor, petani tidak panen sesuai jadwal, di dahului oleh pedagang lain. Sebaliknya mobil yang menjemput pada rute tertentu akan melebihi kapasitas karna melimpahnya panen TBS, atau lebih banyak petani yang panen pada hari itu. Jadi secara nyata dilapangan muatan dari truk penjemputan berkisaran antara 4 sampai 8 ton/ truk. Adapun catatan penjemputan secara teori akan berbeda hasil nyatanya, walaupun sudah ada perhitungan secara gambar, namun hal itu hanya sebagai patokan saja. Untuk rute pejemputan dan kapasitas angkut dapat dilihat pada matrik gambar 2.

Dimana P_0 = depot awal
 P_n = titik-titik jemput TBS
 K = kapasitas kendaraan maksimal 8 ton

Rute pertama



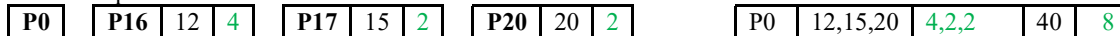
Rute kedua



Rute ketiga



Rute keempat



Rute kelima



Rute keenam



Rute ketujuh



Rute kedelapan



Rute kesembilan



Rute kesepuluh



Gambar 2. Rute penjemputan TBS secara manual

Dari hasil rute penjemputan secara nyata dimasukkan pada data diatas dapat dirangkum dalam tabel perhitungan jarak tempuh dan muatan yang didapat dapat dilihat pada tabel 4. **Tabel 4.** Rute penjemputan secara nyata

| k | r1 | m1 | r2 | m2 | r3 | m3 | r4 | m4 | Ttl Ton | Jarak km |
|----|----|-----|----|----|----|----|----|-----|------------|-------------|
| 1 | 8 | 2 | 9 | 1 | 10 | 3 | 7 | 1.5 | 7.5 | 23 |
| 2 | 6 | 2 | 2 | 2 | 3 | 1 | | | 5 | 34 |
| 3 | 1 | 3 | 15 | 5 | | | | | 8 | 27 |
| 4 | 16 | 4 | 17 | 2 | 20 | 2 | | | 8 | 40 |
| 5 | 19 | 7 | | | | | | | 7 | 44 |
| 6 | 18 | 3 | 14 | 5 | | | | | 8 | 52 |
| 7 | 11 | 3 | | | | | | | 3 | 20 |
| 8 | 13 | 6 | | | | | | | 6 | 30 |
| 9 | 12 | 6 | | | | | | | 6 | 22 |
| 10 | 4 | 2.5 | 5 | 4 | | | | | 6.5 | 46 |

Berdasarkan hasil perhitungan lapangan didapatkan 10 rute kendaraan untuk menjemput 65 ton TBS yang tersebar, dengan minimal kapasitas terangkut 3 ton dan maksimal adalah 8 ton. Sedangkan untuk jarak tempuh pulang pergi minimal adalah 20 km, sedangkan untuk yang paling jauh 52 km.

B. Solusi metode Optimasi ant colony

Optimasi ant colony (ACO) dirancang untuk dapat menyelesaikan formulasi *capacitated vehicle routing problem* yang telah didefinisikan sebelumnya. Prosedur ACO, terdiri dari semut virtual (buatan), merepresentasikan suatu kendaraan, rute yang dilalui oleh semut tersebut merepresentasikan posisi dari TBS yang harus diambil dari petani kelapa sawit hingga semua TBS tersebut berhasil diambil dan dikirimkan ke depot, keberhasilan tersebut direpresentasikan sebagai semut yang telah berhasil mengambil makanannya dan kembali ke sarangnya. Rute baru dari depot akan selalu dipilih bilamana *tour* sebelumnya menghasilkan solusi tidak

layak karena batasan kapasitas kendaraan maupun total rute yang dilalui. Sehingga ada total sebanyak m solusi secara *sequential* yang dihasilkan dari proses *tour* semut pada *graph* CVRP.

Setiap semut dialokasikan secara acak pada node pengambilan TBS yang akan mereka kunjungi dari depot pengumpulan TBS pabrik PKS. Selanjutnya setiap konstruksi tahapan yang dipilih, semut ke k pada posisi pengambilan TBS saat ini akan menuju ke titik pengambilan TBS berikutnya berdasarkan distribusi probabilitas feromon semut yang didefinisikan sebagai.

$$p_{ij}^k = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta [\mu_{ij}]^\gamma}{\sum_{1 \in N_i^k} [\tau_{ij}]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta [\mu_{ij}]^\gamma}, \text{ jika } j \in N_i^k \quad (8)$$

Dimana $\eta_{ij} = 1/d_{ij}$ yang merupakan nilai heuristic, τ_{ij} merepresentasikan konsentrasi feromon yang dialokasikan pada busur e yang menghubungkan setiap titik pengambilan TBS dari perkebunan kelapa sawit i dan j dengan $\mu_{ij} = d_{i0} + d_{0j} - d_{ij}$ adalah adalah nilai penghematan dari kombinasi dua lokasi TBS i dan j dalam bentuk satu tur dibandingkan mengunjungi titik tersebut dari dua tur yang berbeda. α, β, γ adalah variabel kontrol feromon, nilai heuristic dan kontrol penghematan. Untuk menggunakan algoritma *ant colony* perlu menentukan jumlah kapasitas setiap penjemputan, jumlah kendaraan, kapasitas kendaraan dan melakukan pembuatan matrik jarak antara pedagang dengan petani dan petani dengan petani, bentuk matrik dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Jarak antara petani dan jarak petani dengan Pabrik

| depot | Jarak antara petani dan Pabrik | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ton | Petani n | |
|-------|--------------------------------|----|----|----|----|----|-----|----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|----|----|----|-----|----------|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | | | 20 |
| 0 | 0 | 10 | 13 | 17 | 20 | 23 | 4 | 8 | 2 | 5 | 8 | 10 | 11 | 15 | 26 | 3.5 | 12 | 15 | 20 | 22 | 24 | | |
| 1 | 10 | 0 | 3 | 7 | 10 | 13 | 14 | 18 | 12 | 15 | 18 | 20 | 18 | 25 | 36 | 14 | 22 | 25 | 30 | 32 | 34 | 3 | 1 |
| 2 | 13 | 3 | 0 | 4 | 7 | 10 | 17 | 25 | 15 | 18 | 21 | 23 | 39 | 54 | 39 | 17 | 25 | 28 | 33 | 35 | 37 | 2 | 2 |
| 3 | 17 | 7 | 4 | 0 | 3 | 6 | 21 | 25 | 19 | 22 | 25 | 27 | 33 | 48 | 43 | 21 | 29 | 32 | 27 | 39 | 41 | 1 | 3 |
| 4 | 20 | 10 | 7 | 3 | 0 | 3 | 24 | 28 | 22 | 25 | 28 | 30 | 31 | 35 | 46 | 24 | 32 | 35 | 40 | 42 | 44 | 2.5 | 4 |
| 5 | 23 | 13 | 10 | 6 | 3 | 0 | 27 | 31 | 25 | 28 | 31 | 33 | 34 | 38 | 49 | 27 | 35 | 38 | 43 | 45 | 47 | 4 | 5 |
| 6 | 4 | 16 | 17 | 21 | 26 | 27 | 0 | 4 | 6 | 9 | 12 | 14 | 15 | 19 | 30 | 7.5 | 16 | 19 | 24 | 26 | 28 | 2 | 6 |
| 7 | 8 | 18 | 21 | 25 | 28 | 31 | 4 | 0 | 10 | 13 | 4 | 6 | 7 | 11 | 24 | 12 | 20 | 23 | 28 | 30 | 32 | 1.5 | 7 |
| 8 | 2 | 12 | 15 | 19 | 22 | 25 | 6 | 9 | 0 | 3 | 6 | 8 | 9 | 13 | 28 | 5.5 | 14 | 19 | 22 | 24 | 26 | 2 | 8 |
| 9 | 5 | 15 | 18 | 22 | 25 | 28 | 9 | 8 | 7 | 0 | 3 | 5 | 6 | 10 | 31 | 8.5 | 17 | 20 | 25 | 27 | 29 | 1 | 9 |
| 10 | 8 | 18 | 21 | 25 | 28 | 31 | 8 | 4 | 6 | 3 | 0 | 2 | 3 | 7 | 34 | 12 | 20 | 23 | 28 | 30 | 32 | 3 | 10 |
| 11 | 10 | 20 | 23 | 27 | 30 | 33 | 10 | 6 | 8 | 5 | 2 | 0 | 1 | 5 | 36 | 14 | 22 | 25 | 30 | 32 | 34 | 3 | 11 |
| 12 | 11 | 21 | 24 | 28 | 31 | 34 | 11 | 7 | 9 | 6 | 3 | 1 | 0 | 4 | 35 | 15 | 23 | 26 | 31 | 33 | 35 | 6 | 12 |
| 13 | 15 | 25 | 28 | 32 | 35 | 38 | 11 | 7 | 13 | 10 | 7 | 5 | 4 | 0 | 41 | 19 | 27 | 30 | 35 | 37 | 39 | 6 | 13 |
| 14 | 26 | 36 | 39 | 43 | 46 | 49 | 30 | 34 | 28 | 31 | 34 | 36 | 37 | 41 | 0 | 24 | 14 | 11 | 6 | 2 | 2 | 5 | 14 |
| 15 | 3.5 | 14 | 17 | 21 | 24 | 27 | 9.5 | 12 | 5.5 | 8.5 | 12 | 14 | 15 | 19 | 24 | 0 | 8.5 | 12 | 17 | 19 | 21 | 5 | 15 |
| 16 | 12 | 22 | 25 | 29 | 32 | 35 | 16 | 20 | 14 | 17 | 20 | 22 | 23 | 27 | 14 | 8.5 | 0 | 3 | 8 | 10 | 12 | 4 | 16 |
| 17 | 15 | 25 | 28 | 32 | 35 | 38 | 19 | 23 | 17 | 20 | 23 | 25 | 26 | 30 | 11 | 12 | 3 | 0 | 5 | 7 | 9 | 2 | 17 |
| 18 | 20 | 30 | 33 | 37 | 40 | 43 | 24 | 28 | 22 | 25 | 28 | 30 | 31 | 35 | 6 | 17 | 8 | 5 | 0 | 2 | 4 | 3 | 18 |
| 19 | 22 | 32 | 35 | 39 | 42 | 45 | 26 | 30 | 24 | 27 | 30 | 32 | 33 | 37 | 4 | 19 | 10 | 7 | 2 | 0 | 2 | 7 | 19 |
| 20 | 24 | 34 | 37 | 41 | 44 | 47 | 28 | 32 | 26 | 29 | 32 | 34 | 35 | 37 | 2 | 21 | 12 | 9 | 4 | 2 | 0 | 2 | 20 |

C. Uji Coba menggunakan Bahasa pemrograman java

Uji coba kasus CVRP berbasis *ant colony* menggunakan Bahasa pemrograman java dengan matrik *input* jarak, kapasitas truk, jumlah truk dan jumlah TBS yang harus diambil pada suatu titik penjemputan. Pengerjaan perhitungan optimasi kasus ini diintegrasikan dengan *Google OR-Tools*.

```
// [START import]
import com.google.ortools.Loader;
import
com.google.ortools.constraintsolver.Assignme
nt;
import
com.google.ortools.constraintsolver.FirstSoluti
onStrategy;
import
com.google.ortools.constraintsolver.LocalSear
chMetaheuristic;
import
com.google.ortools.constraintsolver.RoutingIn
dexManager;
```

```
import
com.google.ortools.constraintsolver.RoutingM
odel;
import
com.google.ortools.constraintsolver.RoutingSe
archParameters;
import
com.google.ortools.constraintsolver.main;
import com.google.protobuf.Duration;
import java.util.logging.Logger;
// [END import]

/** Minimal VRP. */
public final class VrpCapacity {
    private static final Logger logger =
Logger.getLogger(VrpCapacity.class.getName
());

// [START data_model]
static class DataModel {

    public final long[][] distanceMatrix = {
```

```

{0, 10, 13, 17, 20, 23, 4, 8, 2, 5, 8, 10, 11, 15,
 26, 3, 12, 15, 20, 22, 24},
{10, 0, 3, 7, 10, 13, 14, 18, 12, 15, 18, 20, 18, 25,
 36, 13, 22, 25, 30, 32, 34},
{13, 3, 0, 4, 7, 10, 17, 25, 15, 18, 21, 23, 39, 54,
 39, 16, 25, 28, 33, 35, 37},
{17, 7, 4, 0, 3, 6, 21, 25, 19, 22, 25, 27, 33, 48,
 43, 20, 29, 32, 27, 39, 41},
{20, 10, 7, 3, 0, 3, 24, 28, 22, 25, 28, 30, 31, 35,
 46, 23, 32, 35, 40, 42, 44},
{23, 13, 10, 6, 3, 0, 27, 31, 25, 28, 31, 33, 34, 38,
 49, 26, 35, 38, 43, 45, 47},
{4, 16, 17, 21, 26, 27, 0, 4, 6, 9, 12, 14, 15, 19,
 30, 7, 16, 19, 24, 26, 28},
{8, 18, 21, 25, 28, 31, 4, 0, 10, 13, 4, 6, 7, 11,
 24, 11, 20, 23, 28, 30, 32},
{2, 12, 15, 19, 22, 25, 6, 9, 0, 3, 6, 8, 9, 13,
 28, 5, 14, 19, 22, 24, 26},
{5, 15, 18, 22, 25, 28, 9, 8, 7, 0, 3, 5, 6, 10,
 31, 8, 17, 20, 25, 27, 29},
{8, 18, 21, 25, 28, 31, 8, 4, 6, 3, 0, 2, 3, 7,
 34, 11, 20, 23, 28, 30, 32},
{10, 20, 23, 27, 30, 33, 10, 6, 8, 5, 2, 0, 1, 5,
 36, 13, 22, 25, 30, 32, 34},
{11, 21, 24, 28, 31, 34, 11, 7, 9, 6, 3, 1, 0, 4,
 35, 14, 23, 26, 31, 33, 35},
{15, 25, 28, 32, 35, 38, 11, 7, 13, 10, 7, 5, 4, 0,
 41, 18, 27, 30, 35, 37, 39},
{26, 36, 39, 43, 46, 49, 30, 34, 28, 31, 34, 36, 37, 41,
 0, 23, 14, 11, 6, 2, 2},
{3, 13, 16, 20, 23, 26, 9, 11, 5, 8, 11, 13, 14, 18,
 23, 0, 8, 11, 16, 18, 20},
{12, 22, 25, 29, 32, 35, 16, 20, 14, 17, 20, 22, 23, 27,
 14, 8, 0, 3, 8, 10, 12},
{15, 25, 28, 32, 35, 38, 19, 23, 17, 20, 23, 25, 26, 30,
 11, 11, 3, 0, 5, 7, 9},
{20, 30, 33, 37, 40, 43, 24, 28, 22, 25, 28, 30, 31, 35,
 6, 16, 8, 5, 0, 2, 4},
{22, 32, 35, 39, 42, 45, 26, 30, 24, 27, 30, 32, 33, 37,
 4, 18, 10, 7, 2, 0, 2},
{24, 34, 37, 41, 44, 47, 28, 32, 26, 29, 32, 34, 35, 37,
 2, 20, 12, 9, 4, 2, 0}

```

};

```

// [START demands_capacities]0
public final long[] demands =
{0,3,2,1,2,4,2,1,2,1,3,3,6,6,5,5,4,2,3,7,2};
public final long[] vehicleCapacities = {8, 8,
8, 8,8, 8, 8, 8, 8};
// [END demands_capacities]
public final int vehicleNumber = 9;
public final int depot = 0;
}
// [END data_model]

```

Hasil solusi yang dihasilkan dari *ant colony*, yang menggunakan *ortools.constraintsolver*,

dapat dilihat dari 9 solusi yang dimulai dengan 0 kendaraan artinya kendaraan pertama hingga kendaraan kedelapan. Setiap solusi dijelaskan dengan dimulai awal kendaraan ke tujuan penjemputan hingga kapasitas kendaraan terpenuhi dalam satuan Ton, yang diakhiri dengan total jarak rute yang ditempuh dalam satuan Kilometer diuraikan dibawah ini.

Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Objective: 313

Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Route for Vehicle 0:
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: 0 Load(0) -> 20 Load(2) -> 14 Load(7)
-> 0
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Distance of the route: 52km
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Route for Vehicle 1:
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: 0 Load(0) -> 3 Load(1) -> 4 Load(3) -> 5
Load(7) -> 0
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Distance of the route: 46km
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Route for Vehicle 2:
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: 0 Load(0) -> 19 Load(7) -> 0
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Distance of the route: 44km
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Route for Vehicle 3:
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: 0 Load(0) -> 13 Load(6) -> 6 Load(8) ->
0
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Distance of the route: 30km

Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Route for Vehicle 4:
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: 0 Load(0) -> 16 Load(4) -> 18 Load(7)
-> 0
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Distance of the route: 40km
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Route for Vehicle 5:
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: 0 Load(0) -> 8 Load(2) -> 12 Load(8) ->
0
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Distance of the route: 22km
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Route for Vehicle 6:
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: 0 Load(0) -> 2 Load(2) -> 1 Load(5) -> 0
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Distance of the route: 26km
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity printSolution
INFO: Route for Vehicle 7:
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity
INFO: 0 Load(0) -> 17 Load(2) -> 15 Load(7)
-> 0
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity
INFO: Distance of the route: 29km

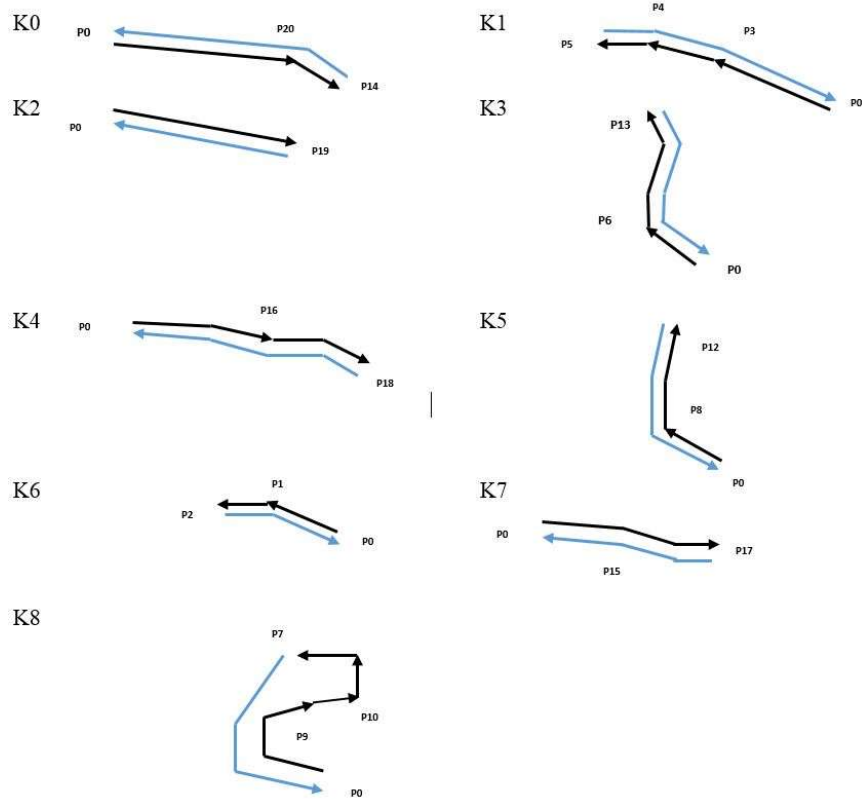
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity
INFO: Route for Vehicle 8:
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity
INFO: 0 Load(0) -> 9 Load(1) -> 11 Load(4) ->
10 Load(7) -> 7 Load(8) -> 0
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity
INFO: Distance of the route: 24km
Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity
INFO: Total distance of all routes: 313km

Mar 22, 2022 11:37:07 PM
com.google.ortools.constraintsolver.samples.Vr
pCapacity
INFO: Total load of all routes: 64

BUILD SUCCESS

Total time: 3.165 s
Finished at: 2022-03-22T23:37:07+07:00

Berdasarkan hasil solusi *ant colony* dapat digambarkan rute penjemputan TBS masing masing rute dengan titik titik jemput dan rute kembali kepada titik awal kendaraan. Bentuk rute penjemputan dapat dilihat pada gambar 3.



Rute penjemputan → (black arrow)
Rute kembali → (blue arrow)

Gambar 3. Rute penjemputan

Hasil solusi *ant colony* yang didapat, maka dapat dimasukkan dalam tabel 6 untuk mempermudah dalam membaca solusi yang dihasilkan.

Tabel 6. Hasil menggunakan Optimasi *ant colony*

| k | r1 | m1 | r2 | m2 | r3 | m3 | r4 | m4 | Ttl Ton | Jrk km |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|------------|-----------|
| 0 | 20 | 2 | 14 | 5 | - | - | | | 7 | 52 |
| 1 | 3 | 1 | 4 | 3 | 5 | 4 | | | 7 | 46 |
| 2 | 19 | 7 | | | | | | | 7 | 44 |
| 3 | 13 | 6 | 6 | 8 | | | | | 8 | 30 |
| 4 | 16 | 4 | 18 | 3 | | | | | 7 | 40 |
| 5 | 8 | 2 | 12 | 6 | | | | | 8 | 22 |
| 6 | 2 | 2 | 1 | 3 | | | | | 5 | 26 |
| 7 | 17 | 2 | 15 | 5 | | | | | 7 | 29 |
| 8 | 9 | 1 | 11 | 3 | 10 | 3 | 7 | 1 | 8 | 24 |
| | | | | | | | | | 64 | 313 |

Jumlah kendaraan atau rute yang dihasilkan *ant colony* yaitunya 9 rute penjemputan dengan kapasitas angkut 8 ton/kendaraan. Rute yang dengan jumlah titik jemput paling sedikit terdapat pada rute kendaraan 2, yang hanya menjemput tbs petani 19 dengan total TBS adalah 7 ton, jarak tempuh adalah 44 km pulang pergi. Sedangkan untuk rute penjemputan dengan titik jemput paling banyak adalah rute kendaraan 8 dengan jumlah titik jemput 4 petani, dengan kapsitas terangkut 8 ton, jarak tempuh 24 km pulang pergi. Nilai rute penjemputan paling optimal adalah rute kendaraan 5 dengan jarak tempuh pulang pergi 22 km dengan muatan kapasitas yang di angkut adalah 8 ton, dengan mengunjungi rute 2 yaitunya petani 8 dan petani 12. Sedangkan jarak paling jauh yang didapatkan pada rute kendaraan 1 dengan jarak tempuh pulang pergi adalah 52 km, dengan menempuh 2 rute dengan penjemputan pada petani 20 dan petani 14 dengan muatan angkut yang didapatkan adalah 7 ton. Total jarak tempuh yang dilalui semua truk dalam rute penjemputan dan balik ke depo adalah 313 km.

SIMPULAN

Metode CVRP dengan algoritma *ant colony* memberikan hasil perhitungan penjemputan yang lebih baik yaitunya dari sisi rata rata isi kapasitas kendaraan yang menuju depot pedagang 7.1 ton/kendaraan. Jumlah rute kendaraan juga lebih sedikit yaitu 9 rute. Total

jarak tempuh juga lebih efisien 313 km. sedangkan untuk perhitungan penjemputan manual rata rata isi kendaraan yang menuju depot pedagang adalah 6.4 ton/ kendaraan. Jumlah rute kendaraan juga lebih banyak yaitunya 10 rute. Total jarak tempuh juga lebih efisien 338 km. Terjadi selisih $338-313 = 25$ km. Perhitungan menggunakan *ant colony* mampu memhemat jarak tempuh 25 km perhari, jika kegiatan rutin penjemputan dilakukan 4 hari yang sama dalam 1 bulan maka efisiensi penghematan penjemputan mencapai $25 \text{ km} \times 4 \text{ hari} = 100 \text{ km}$ dalam sebulan untuk satu hari yang sama.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan pada lembaga pengelola dana pendidikan (LPDP) dan IPB University yang telah memberikan kesempatan dalam menempuh pendidikan pascasarjana di program studi Teknik Industri Pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Adilasri A. 2015. Perencanaan Kebutuhan Truk Pengangkutan Tanda Buah Segar (TBS) Pada PT Amp Plantation. Universitas Andalas.
- Agnes C Sequino, Avenido J. 2015. The World 's Leader in the Palm Oil Industry : Indonesia. *E Int J Ecol Conserv.* 13:155–164. doi:10.7718/ijec.v13i1.1074.
- Anugrah PT, Wachjar A. 2018. Pengelolaan Pemanenan dan Transportasi Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di Bangun Bandar Estate, Sumatera Utara. *Bul Agrohorti.* 6(2):213–220.
- Atikah N, Sutopo W. 2014. Simulasi model dinamik pengangkutan crude palm oil (cpo) di PT. XYZ untuk meminimalkan biaya transportasi pengadaan bahan. *J@ti Undip J Tek Ind.* IX(2):125–134.
- Bakara RB. 2011. Optimalisasi Pengadaan Tandan Buah Segar (TBS) sebagai Bahan Baku Industri Pengolahan Crude Palm Oil (CPO) dan Palm Kernel Oil (PKO) (Studi Kasus PKS Adolina PT Perkebunan Nusantara IV). IPB University.

- Dirjen Perkebunan. 2017. Statistik perkebunan Indonesia 2016-2017. Jakarta.
- Gunawan A, Sipayung EM, Wiguno A. 2015. Pengiriman Barang Dengan Metode Ant Colony Optimization Studi Kasus : PT . XYZ. Di dalam: *Seminar Nasional Sistem Informasi Indonesia*. Bandung: SESINDO. hlm 2–3.
- Gunawan, Maryati I, Wibowo HK. 2012. Optimasi penentuan rute kendaraan pada sistem distribusi barang dengan ant colony optimization 1. Di dalam: *Seminar Nasional Teknologi Informasi & Komunikasi Terapan 2012*. Volume ke-2012. Semarang: Semantik 2012. hlm 163–168.
- Hadiguna RA, Khotimah N. 2013. Faktor Sukses Untuk Rantai Pasok Kelapa Sawit di Provinsi Riau. Di dalam: *Proceeding Seminar Inovasi Teknologi dan Rekayasa Industri 2013*. Padang: Universitas Andalas.
- High Carbon Stock. 2015. The High Carbon Stock Science Study 2015. Kuala Lumpur.
- Hudori M. 2016. Perencanaan Kebutuhan Kendaraan Angkutan Tandan Buah Segar (TBS) di Perkebunan Kelapa Sawit. *Ind Eng J*. 5(1):22–27.
- Krisdiarto AW, Sutiartso L, Widodo KH. 2017. Optimasi Kualitas Tandan Buah Segar Kelapa Sawit dalam Proses Panen-Angkut Menggunakan Model Dinamis. *AGRITECH*. 37(1):101–107.
- Martariza D. 2011. Sistem transportasi tandan buah segar (TBS) dengan pendekatan fuzzy binary integer programming. Universitas Andalas.
- Muryunika R. 2015. Strategi pengelolaan dan pengembangan agroforestri berbasis kelapa sawit di Jambi. IPB Universty.
- Nurkholis A, Sitanggang IS. 2020. Optimalisasi model prediksi kesesuaian lahan kelapa sawit menggunakan algoritme pohon keputusan spasial. *J Teknol dan Sist Komput*. 8 February:192–200. doi:10.14710/jtsiskom.2020.13657.
- Purwadana PIA, Githa DP, Singgih DP. 2018. Aplikasi Optimalisasi Pengiriman Barang Menggunakan Metode Tabu Search Berbasis Web. *J MERPATI*. 6(3):234–243.
- Rahmat B, Tjandrarini AB, Budianto D. 2006. Perbandingan Genetic Algorithm , Multiple Ant Colony System dan Tabu Search untuk Penyelesaian Vehicle Routing Problem With Time Windows (VRPTW). Di dalam: *Seminar Nasional Design and Application of Technology (DAT) 2006*. hlm 1–10.
- Randa DG. 2011. Penjadwalan transportasi tandan buah segar dan tandan kosong kelapa sawit (studi kasus di PTPN VIII Kertajaya Banten). IPB University.
- Rudor C. 2012. Peranan Kelapa Sawit Terhadap pemabangunan Ekonomi Provinsi Sumatra Barat. IPB University.
- Sembiring MT, Sukardi, Suryani A, Romli M. 2015. Model biaya produksi biodiesel berbasis minyak sawit. *J Litbng Ind*. 5(1):23–36.
- Singh RP. 2014. Cost effectiveness of palm oil in comparison to other oils and fats in the country with special emphasis on lower income group. *Indian J Community Heal*. 26(01):37–44.
- Soenandi IA, Marpaung B. 2019. Optimasi Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows dengan Menggunakan Ant Colony Optimization. *J Sist dan Manaj Ind*. 3(1):59–66.
- Takimi T. 2021. A Study On Ant Colony Optimization. *J Photopolym Sci Technol*. 34(4):357–362. doi:10.2494/PHOTOPOLYMER.34.357.
- Tenda E, Sitanggang IS, Barus B. 2014. Optimisi metaheuristik koloni semut untuk solusi masalah jalur terpendek pada jaringan jalan riil. *J Ilmu Komput Agri-Informatika*. 3(2):74–83.

Ulfiah K, Hakim L Al, Ilham MD, Mulyanto M, Julianti NS, Ariyanti N, Ramadhanti N, Astuti RP, Nurfaizah R, Giwangkara R, *et al.* 2018. Economic Value of Palm Oil (*Elaeis guinensis*) for Indonesian People. *Munich Pers RePEC Arch.* 90215.

Zimmer Y. 2010. Competitiveness of rapeseed , soybeans and palm oil. *J Oilseed Brassica.* 1(2):84-90.