

VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP) DENGAN ALGORITMA GENETIKA PADA PENDISTRIBUSIAN SAYURAN DATARAN TINGGI

A VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP) BY GENETIC ALGORITHM ON THE DISTRIBUTION OF HIGHLAND VEGETABLES

Alim Setiawan Slamet^{1)*}, Hariman Hidayat Siregar²⁾, dan Azis Kustiyo²⁾

¹⁾Departemen Manajemen, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, Institut Pertanian Bogor
Kampus IPB Darmaga, Bogor, Indonesia
E-mail: alimss@ipb.ac.id

²⁾Departemen Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor

ABSTRACT

The problem that often arise in the distribution of highland vegetables is how to minimize the total transportation costs without sacrificing the goal completion time to reduce the risk of the decline in the quality of vegetables during the trip. The problems encountered in this case include heterogeneous multi-fleet, single source, single trip, and multi-product. The objective of this study was to obtain the distribution channels on the vehicle routing problem of highland vegetables using genetic algorithm (GA). Vehicle routing problem (VRP) is an important issue on a transportation system that aims to minimizing the total vehicle mileage to reduce vehicle-operating cost to a minimum. VRP belongs to the class of non-polynomial hard (NP-hard), which generally uses a heuristic approach to find a solution. This research used genetic algorithm optimization method (GA) to solve the problem. Genetic algorithm is one of the heuristic methods, which is analogous to the process of evolution by natural selection phase, crossover and mutation. The research shows that reduction of the distribution time of about 1 hour 58 minutes or an increase in time efficiency by approximately 32.22% and a reduction of the fleet utilization by 1 fleet or an increase of fleet efficiency by 14.28%. This study presents a genetic algorithm for solving vehicle routing problem resulted in a more optimal solution on the distribution of highland vegetables.

Keywords: genetic algorithm, highland vegetables, optimization, vehicle routing problem

ABSTRAK

Permasalahan yang umumnya terjadi dalam distribusi sayuran dataran tinggi adalah bagaimana meminimalkan total biaya transportasi tanpa mengorbankan waktu penyelesaian tujuan untuk mengurangi risiko penurunan kualitas sayuran selama perjalanan. Masalah yang dihadapi mencakup multi-moda yang heterogen, sumber tunggal, perjalanan tunggal, dan multi-produk. Permasalahan tersebut dapat dimodelkan sebagai *vehicle routing problem* (VRP). Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh jalur pendistribusian pada masalah *vehicle routing* sayuran dataran tinggi yang mendekati optimal menggunakan algoritma genetika. VRP termasuk dalam *non-polynomial hard* (NP-hard), yang umumnya menggunakan pendekatan heuristik untuk menemukan solusi. Algoritma genetika merupakan salah satu metode heuristik untuk mencari rute atau jalur distribusi sayuran yang memenuhi tujuan. Hasil penelitian menunjukkan adanya pengurangan waktu distribusi sekitar 1 jam 58 menit atau peningkatan efisiensi waktu sekitar 32,22% dan pengurangan pemanfaatan armada oleh 1 dari awalnya 7 armada yang digunakan atau peningkatan sekitar 14,28%. Studi ini menunjukkan penggunaan algoritma genetika dalam VRP dapat menghasilkan solusi yang lebih optimal dalam pendistribusian sayuran dataran tinggi.

Kata kunci: algoritma genetika, sayuran dataran tinggi, optimasi, *vehicle routing problem*

PENDAHULUAN

Kompleksitas masalah dalam pendistribusian sayuran dataran tinggi disebabkan oleh variasi elemen-elemennya seperti jangkauan area, biaya pengangkutan, dan waktu yang diperlukan untuk pengangkutan. Permasalahan pendistribusian sayuran dataran tinggi tersebut tujuan meminimalkan beberapa sasaran pendistribusian dengan asumsi untuk semua rute kendaraan harus berangkat dan kembali pada pusat fasilitas dengan mencari rute terpendek dan waktu lebih cepat dari suatu depot menuju sekumpulan titik-titik pendistribusian yang

tersebar secara geografis. Permasalahan ini dapat dimodelkan sebagai *Vehicle Routing Problem* (VRP).

Pendistribusian sayuran di Indonesia masih terkendala dalam jaminan kesinambungan atas kualitas produk, minimnya jumlah pasokan, dan ketepatan waktu pengiriman. Menurut Morgan *et al.* (2004), kendala utama dalam rantai pasok sayuran adalah perencanaan, sosialisasi, pengiriman, dan ekspektasi. Waktu menjadi faktor yang sangat krusial dalam pendistribusian karena sayuran merupakan komoditas yang cepat mengalami

penurunan kualitas sehingga harus sampai pada konsumen dengan cepat.

Selama ini, beberapa sentra sayuran di Indonesia melakukan perencanaan pendistribusian berdasarkan intuisi dan pengalaman sehingga tak jarang terjadi penurunan kualitas pada sayuran ketika sampai pada konsumen. Selain itu, beberapa petani dan prosesor dalam rantai pasok sayuran dataran tinggi seperti PT Saung Mirwan sering menghadapi risiko distribusi yang dipicu ketidaktepatan sasaran dalam rantai distribusi dengan frekuensi risiko ini cenderung sering terjadi. Ketidaktepatan ini seperti ditunjukkan kesesuaian kualitas dengan standar kurang dari 30%, kinerja pengiriman kurang dari 40%, dan pemenuhan pesanan belum mencapai 60% (Slamet *et al.*, 2012). Oleh karena itu, perlu adanya pemodelan pendistribusian yang optimal untuk menjamin kualitas sayuran dan sampai pada tujuan tepat waktu. Selain itu, model pendistribusian yang optimal diharapkan dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi dalam pendistribusian dan pemasaran.

Pada penelitian Prins (2004) telah diterapkan algoritma genetika dalam penyelesaian VRP yang menghasilkan solusi dengan waktu komputasi yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode metaheuristik yang telah ada sebelumnya. Algoritma genetika merupakan algoritma terbaik dalam penyelesaian VRP untuk kasus dengan skala yang besar dengan berbagai karakteristiknya dan telah diteliti diantaranya yaitu: Baker dan Ayechev (2003); Archetti (2006); Alvarenga (2007); Jin *et al.* (2008); Golden *et al.* (2008); Liu *et al.* (2009), dan Wilck dan Cavalier (2012). Pada penelitian ini akan diterapkan teknik algoritma genetika untuk optimasi jalur pendistribusian sayuran dataran tinggi dengan harapan menghasilkan jalur distribusi yang mendekati optimal.

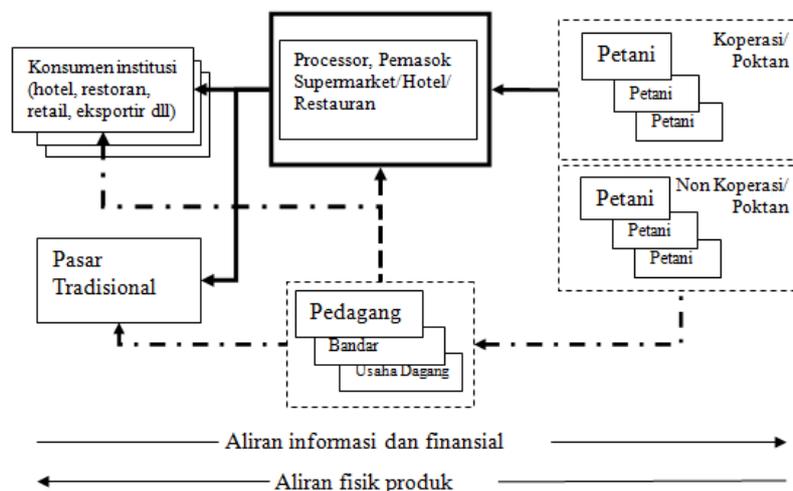
Tujuan dari penelitian ini adalah mengimplementasikan algoritma genetika dalam penyelesaian VRP pada pendistribusian sayuran dataran tinggi. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk memperoleh jalur pendistribusian pada masalah *vehicle routing* sayuran dataran tinggi yang mendekati optimal, antara depot sentra produksi dan distribusi sayuran dataran tinggi PT Saung Mirwan di daerah Puncak Bogor dengan batasan masalah berupa *heterogenous multifleet, single trip, single depot, dan delivery operation time windows*.

PT Saung Mirwan mempunyai 21 pelanggan tetap yang tersebar di daerah Jakarta. Jarak terdekat dengan depot sejauh 54,2 km dan jarak terjauh 66,2 km. Perusahaan ini memiliki lima armada dengan kapasitas 75 peti dan dua armada dengan kapasitas 175 peti. Sayuran yang didistribusikan adalah selada, kembang kol, tomat, sawi, dan seledri.

VEHICLE ROUTING PROBLEM (VRP) PADA RANTAI PASOK HORTIKULTURA

Rantai Pasokan Hortikultura

Menurut Slamet *et al.* (2011), struktur rantai pasok sayuran dataran tinggi di Jawa Barat terdiri atas petani, koperasi, bandar, usaha dagang, pemasok hotel, restoran, swalayan, eksportir, dan ritel. Pada Gambar 1 ditunjukkan aliran fisik produk sayuran berlangsung mulai dari petani/kelompok tani yang dikirim ke prosesor untuk disortir dan dikemas, kemudian produk dikirim ke ritel untuk dijual langsung kepada konsumen atau dikirim ke hotel dan restoran untuk diolah lebih lanjut. Sebaliknya, aliran finansial dan informasi mengalir dari konsumen ritel, hotel, dan restoran ke prosesor, kemudian dari prosesor ke petani/ kelompok tani.



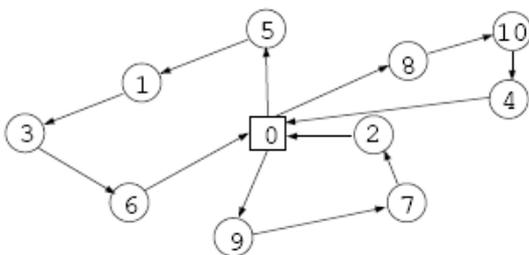
Gambar 1. Struktur rantai pasok sayuran dataran tinggi

Vehicle Routing Problem (VRP)

Vehicle Routing Problem (VRP) didefinisikan sebagai sebuah pencarian terhadap cara penggunaan yang efisien dari sejumlah *vehicle* yang harus melakukan perjalanan untuk mengunjungi sejumlah tempat untuk mengantar dan/atau menjemput orang/barang. Istilah *customer* digunakan untuk menunjukkan pemberhentian untuk mengantar dan/atau menjemput orang/barang. Setiap *customer* harus dilayani oleh satu *vehicle* saja. Penentuan pasangan *vehicle-customer* ini dilakukan dengan mempertimbangkan kapasitas *vehicle* dalam satu kali angkut untuk meminimalkan biaya yang diperlukan. Biasanya, penentuan biaya minimal erat kaitannya dengan jarak minimal.

VRP juga dapat dikaji sebagai kombinasi dari dua permasalahan optimasi lain, yaitu *Bin Packing Problem* (BPP) dan *Travelling Salesman Problem* (TSP) (Áslaug, 2004). BPP dapat dideskripsikan sebagai berikut: “Diberikan sejumlah angka yang melambangkan ukuran dari sejumlah *item*, dan sebuah konstanta *k* yang melambangkan kapasitas dari *bin*. Berapa jumlah *bin* minimum yang diperlukan?”. Satu *item* hanya dapat berada dalam satu *bin* saja dan total kapasitas *item* pada setiap *bin* tidak boleh melebihi kapasitas dari *bin* tersebut. Selain itu, TSP adalah sebuah permasalahan tentang seorang *salesman* yang ingin mengunjungi sejumlah kota. Yang bersangkutan harus mengunjungi tiap kota sekali saja, dimulai dan diakhiri kota awal. Inti permasalahan adalah untuk menemukan jalur terpendek melalui semua kota yang ada.

Hubungan keduanya dengan VRP adalah *vehicle* dapat dihubungkan dengan *customer* menggunakan BPP dan urutan kunjungan *vehicle* terhadap tiap *customer* diselesaikan menggunakan TSP. Solusi dari sebuah permasalahan VRP dalam bentuk graf ditunjukkan oleh Gambar 2. Pada gambar tersebut, *node* 0 melambangkan depot dan *node* 1-10 melambangkan *customer*.

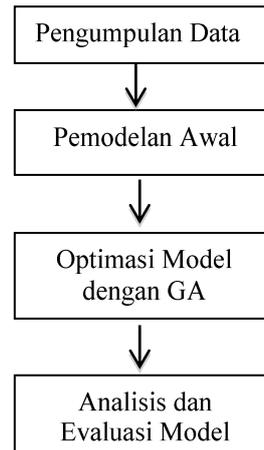


Gambar 2. Solusi dari sebuah VRP dari depot ke titik-titik tujuan

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dalam empat tahapan, yaitu: (1) Pengumpulan Data, (2) Pemodelan awal, (3) Optimasi Model dengan GA,

dan (4) Analisis dan Evaluasi Model. Tahapan-tahapan tersebut disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Tahapan penelitian

Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data primer mengenai jaringan rantai pasok di Puncak Bogor yang meliputi jaringan strategis, lokasi, penyimpanan, kapasitas pusat distribusi, dan fasilitas distribusi. Data dikumpulkan dengan melakukan wawancara langsung terhadap pengambil keputusan di objek studi kasus.

Pemodelan VRP

Kebanyakan pemodelan *integer programming* pada permasalahan VRP klasik (*Capacitated VRP*) menggunakan variabel biner sebagai variabel yang melambangkan rute *vehicle* untuk mengindikasikan apakah sebuah *vehicle* bergerak antara dua *customer* pada kondisi optimal. Formulasi ini pertama kali diajukan oleh Garvin *et al.* (1957) untuk memodelkan sebuah permasalahan pengantaran minyak yang kemudian dikembangkan oleh Gavish dan Graves (1981).

Gheysens *et al.* (1984) membuat formulasi menggunakan variabel biner dengan tiga indeks, yaitu *k*, *x*, dan *ij* sebagai aliran *vehicle* yang bernilai 1 jika sebuah *vehicle* bertipe *k* melakukan perjalanan dari *customer i* ke *customer j*, dan 0 jika tidak. Selain itu, ada variabel lain yaitu *y_{ij}* yang melambangkan jumlah barang yang dibawa ketika meninggalkan *customer i* menuju *customer j*. Pada pemodelan awal dirumuskan hal-hal sebagai berikut:

1 Identifikasi variabel keputusan

Langkah ini merupakan dasar utama dari kegiatan selanjutnya dalam pengembangan model keputusan. Variabel-variabel keputusan adalah variabel yang dapat dikendalikan oleh pengambil keputusan. Variabel-variabel ini akan direpresentasikan menjadi solusi-solusi pada kromosom dalam proses optimasi dengan algoritma genetika.

2 Identifikasi kendala-kendala

Kendala merupakan pembatas nilai suatu variabel keputusan. Kendala diharapkan dapat memberikan suatu nilai hubungan keterkaitan antara variabel-variabel keputusan yang saling mempengaruhi, interaksi, interdependensi, timbal-balik, ataupun saling menentang. Kendala dirumuskan dalam bentuk fungsi matematika.

3 Perumusan fungsi tujuan

Fungsi tujuan merupakan fungsi dari variabel-variabel keputusan yang akan dimaksimumkan atau diminimumkan. Pada penelitian ini fungsi tujuannya adalah meminimisasi total biaya pendistribusian.

Optimasi model

Pada tahap ini dilakukan optimasi model. Parameter-parameter spesifik berupa jumlah populasi awal, jumlah populasi baru, *mutation probability*, dan *crossover probability* akan diubah sesuai percobaan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Proses pada algoritma genetika diawali dengan proses pembentukan populasi awal yang terdiri atas kumpulan kromosom yang dibentuk dengan menggunakan algoritma *Greedy*. Jumlah kromosom pada populasi awal dibatasi sejumlah titik yang dikunjungi. Tahap selanjutnya analog pada proses evolusi alam, yaitu seleksi, *crossover*, dan mutasi.

Seleksi

Kriteria yang digunakan pada proses seleksi ini adalah kriteria fungsi *fitness*. Teknik seleksi yang digunakan untuk memilih kromosom yang memiliki nilai *total ongkos* minimum atau nilai *fitness* yang paling kecil ini adalah teknik seleksi turnamen (*tournament selection*). Pada teknik ini, akan dipilih dua buah kromosom secara acak dalam populasi, lalu dibandingkan berdasarkan nilai *fitness*-nya. Kromosom yang terpilih adalah kromosom yang memiliki nilai *fitness* yang lebih kecil yang kemudian akan disilangkan dengan kromosom yang terpilih lainnya untuk mendapatkan individu baru.

Analisis dan Evaluasi Model

Pada tahap ini, model dianalisis untuk mendapatkan model yang optimal. Jika belum optimal, akan dilakukan perubahan variabel yang terkait maupun pemodelan ulang sistem jika diperlukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan VRP dengan Integer Linear Programming

Model VRP merupakan model transportasi dan distribusi yang dimulai sentra distribusi sampai kepada konsumen akhir. Untuk merancang model transportasi ini dibutuhkan beberapa tahapan yaitu asumsi variabel-variabel yang akan digunakan pada model, identifikasi variabel keputusan, identifikasi

kendala-kendala, perumusan fungsi tujuan, dan penyusunan model. Model tersebut dapat digunakan untuk menemukan solusi tujuan yang paling optimal. Pada penelitian ini, optimasi yang dilakukan adalah mencari nilai minimum dari *Total Transportation Cost*. Model yang direpresentasikan merupakan model yang bersifat *integer linear programming*. Artinya, nilai dari variabel-variabel keputusan adalah bilangan bulat positif, tidak mengandung pecahan atau desimal. Berikut adalah tahap-tahap yang dilakukan dalam perancangan model:

Asumsi

Model ini diasumsikan terdiri atas empat komponen utama yaitu:

Pemasok

Jaringan bermula dari titik sumber yang menyediakan barang. Dalam VRP, pemasok akan menjadi depot/sumber. Dalam kasus ini, yang menjadi depot adalah sentra distribusi dan produksi sayuran dataran tinggi PT Saung Mirwan yang terletak di Jalan Cikopo Selatan, Megamendung Puncak Bogor, Jawa Barat.

Kosumen

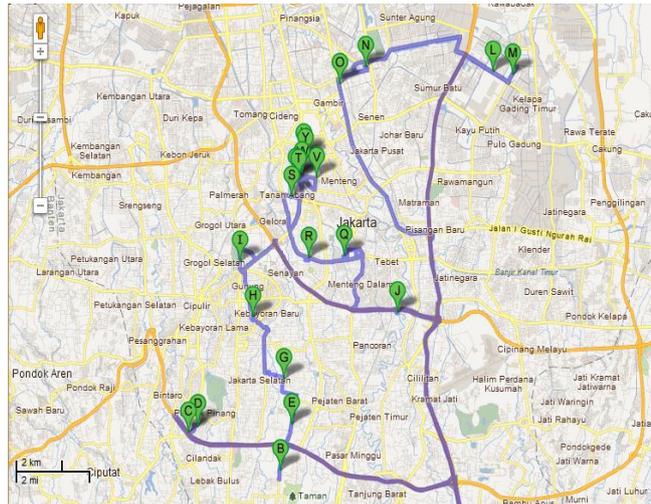
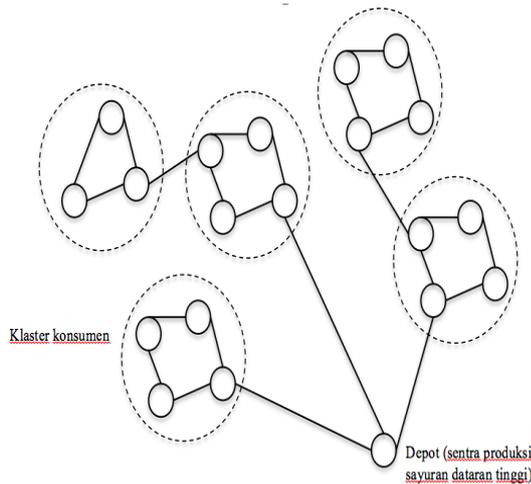
Sayuran dari pemasok akan didistribusikan kepada konsumen yang berada di DKI Jakarta. Konsumen ini akan menjadi titik-titik tujuan dalam model transportasi. Konsumen yang akan dituju dalam kasus ini adalah sebagai berikut: (A) Bakmi Gajah Mada Melawai, (B) Bakmi Gajah Mada Kebon Kacang, (C) 7-Eleven Teluk Betung, (D) 7-Eleven Menteng, (E) Hoka-hoka Bento, (F) Kamikaze Resto, (G) Marche Restaurants, (H) Mc Donalds, (I) Moss Burger, (J) Burger King, (K) Pizza Marzano, (L) Ampera, (M) Domino Pizza, (N) Carrefour Lebak Bulus, (O) Carrefour MT Haryono, (P) Farmers Market, (Q) Hotel Sultan, Hypermart, (R) The Shangri-la Hotel, (S) Pacific Palace Hotel, dan (T) The Park Lane Hotel. Jalur pendistribusian sayuran dataran tinggi dari depot sentra produksi ke titik-titik konsumen di dapat dilihat pada Gambar 4.

Permintaan (Demand)

Jumlah permintaan dari konsumen akan dianggap menjadi jumlah sayuran yang akan didistribusikan ke titik-titik pengiriman. Jumlah permintaan ini merupakan jumlah permintaan tetap harian di luar permintaan insidental.

Jarak

Asumsi jarak yang dipakai adalah berupa waktu tempuh. Asumsi ini digunakan untuk meningkatkan akurasi jarak. Fungsi jarak *euclidian* ataupun jarak sebenarnya kurang relevan diterapkan pada kasus ini karena untuk tipe jalan di Jakarta dengan jarak yang sama belum tentu memiliki waktu tempuhnya sama. Hal ini disebabkan oleh jalur yang dilewati memiliki tingkat kemacetan yang berbeda sehingga walaupun jarak sama waktu tempuh dapat berbeda.



Gambar 4. Jalur pendistribusian dari depot (sentra) ke titik-titik konsumen

Identifikasi Variabel Keputusan

Variabel-variabel keputusan dalam model ini disimbolkan menjadi x_{ijk} . Akan ditentukan apakah kendaraan ke- k melewati rute dari i menuju ke j . Jika dilewati, x_{ijk} bernilai 1, selainnya bernilai 0 dengan nilai $i, j, k > 0$.

Perumusan Fungsi Tujuan

Fungsi tujuan dari masalah ini tergolong dalam tujuan tunggal. Tujuan pembuatan model ini adalah meminimumkan *total ongkos* pendistribusian. Dalam kasus ini, *ongkos* diasumsikan dalam waktu tempuh pendistribusian hingga produk sampai ke konsumen sehingga fungsi tujuan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\min z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \left(c_{ij} \sum_{k=1}^K x_{ijk} \right) \dots\dots\dots(1)$$

dengan x_{ijk} menentukan apakah kendaraan k melewati jalur ij dan c_{ij} merupakan *ongkos* untuk melewati jalur ij .

Identifikasi Kendala-Kendala

Kendala-kendala dalam model transportasi ini adalah kapasitas tiap-tiap kendaraan, jumlah kendaraan, dan permintaan. Kendala-kendala tersebut dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^K x_{ijk} = 1 \quad j = 1,2,\dots,N \quad \dots\dots\dots(2)$$

Pada formula di atas, *constraint* tersebut memastikan setiap *customer* hanya dikunjungi tepat satu kali oleh 1 kendaraan.

$$\sum_{i=0}^N x_{iik} - \sum_{j=0}^N x_{ijk} = 0 \quad k = 1,2,\dots,K \quad l = 0,1,\dots,N \quad \dots\dots\dots(3)$$

Constraint ini memastikan apabila suatu kendaraan mengunjungi suatu titik l dari i maka kendaraan tersebut harus meninggalkan titik tersebut dengan berangkat dari titik l menuju k .

$$\sum_{j=1}^N x_{0jk} = 1 \quad k = 1,2,\dots,K \quad \dots\dots\dots(4)$$

Constraint ini memastikan bahwa semua kendaraan hanya berangkat 1 kali dari depot (x_0). *Constraint* ini menyebabkan kasus ini termasuk perjalanan tunggal (*single trip*).

$$\sum_{i=1}^N \left(d_i \sum_{j=0}^N x_{ijk} \right) \leq W_k \quad k = 1,2,\dots,K \quad \dots\dots\dots(5)$$

Constraint ini memastikan bahwa semua kendaraan tidak boleh membawa barang melebihi kapasitasnya (W_k) masing-masing.

$$x_{ijk} \begin{cases} 1 & \text{jika jalur } i \text{ menuju } j \text{ dilewati } k \\ 0 & \text{selainnya} \end{cases}$$

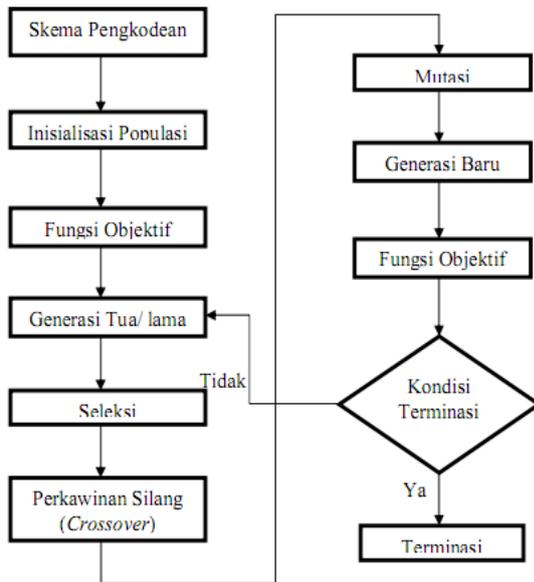
Constraint ini memastikan bahwa variabel x adalah biner, dengan x_{ijk} menyatakan apakah jalur i menuju j dilewati oleh kendaraan k atau tidak.

- N = jumlah titik
- K = jumlah kendaraan
- W_k = kapasitas kendaraan ke k
- d_i = permintaan *customer*/titik ke i .

Dalam kasus ini tidak dipakai *constraint time windows* karena selang waktu antara waktu mulai pendistribusian dan waktu tiba maksimum kendaraan ke pelanggan cukup lebar sehingga dapat dipastikan sayuran sampai ke pelanggan sebelum waktu yang ditentukan.

Penyelesaian dengan Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah suatu teknik pencarian (*searching technique*) dan teknik optimasi yang berdasarkan pada proses evolusi dan perubahan struktur genetik pada makhluk hidup (Arkeman *et al.*, 2012). Pada alam, informasi genetik dari sebuah individu disimpan dalam kromosom, yang terdiri dari sekumpulan *gen*. Karakteristik dari setiap individu dikendalikan oleh *gen-gen* tersebut, yang kemudian akan diwariskan kepada keturunan-keturunannya ketika individu tersebut berkembang biak. Nilai rata-rata karakteristik dari populasi akan meningkat setiap generasi, seiring dengan bertambahnya individu-individu yang mempunyai kriteria yang bagus dan punahnya individu-individu yang mempunyai kriteria yang buruk. Kromosom yang terbaik akan bertahan hidup sehingga generasi berikutnya akan lebih baik karena kromosom pada generasi tersebut diturunkan dari orang tua yang baik pula (Koza, 1992). Konsep yang sama dikembangkan untuk penyelesaian masalah dengan cara mencari himpunan solusi terbaik yang bertahan hidup dan melakukan rekombinasi solusi yang kurang baik untuk mendapatkan kromosom lain yang lebih baik pada generasi berikutnya. Secara umum, algoritma genetika diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Diagram alir algoritma genetika

Proses algoritma genetika terdiri atas beberapa langkah, yaitu pengkodean (*encoding*), seleksi (*selection*), persilangan (*crossover*), mutasi (*mutation*), dan *decoding*. Proses *encoding* adalah suatu proses kodifikasi atas solusi dari permasalahan. Hasil *encoding* berbentuk *string* yang merupakan representasi dari suatu kromosom. Proses *selection* menentukan kromosom mana yang tetap tinggal pada generasi berikutnya. Proses *crossover* akan menghasilkan kromosom baru yang

merupakan pengganti dari kromosom yang hilang sehingga total kromosom pada satu generasi berjumlah tetap. Proses *mutation* memungkinkan terjadinya kromosom baru secara tidak terduga. Proses terakhir adalah *decoding*, yaitu mengambil makna dari hasil kromosom terbaik untuk menjawab permasalahan.

Representasi Kromosom

Algoritma genetika bekerja pada calon-calon solusi yang dibentuk secara acak yang disebut dengan populasi. Setiap calon solusi (individu) di dalam populasi tersebut direpresentasikan sebagai kromosom. Representasi kromosom dalam Gambar 6 yang dipakai untuk memecahkan permasalahan transportasi ini adalah *integer representation chromosome* atau representasi kromosom *integer*. Dalam representasi ini deretan bilangan dalam kromosom merepresentasikan kendaraan mana yang akan melewati titik tersebut, dengan posisi kromosom merepresentasikan titik yang akan dilewati.

1	2	3	4	5	6	7	8	...	21
4	6	4	5	1	3	3	1	...	6

Gambar 6. Representasi kromosom

Rute yang akan ditempuh kendaraan ke-4, dimulai dari titik depot, kemudian menuju titik 1, lalu ke titik 3, kemudian kembali lagi ke depot. Pada tahap akhir akan dilakukan *decoding* untuk melihat jalur untuk masing-masing kendaraan. Posisi titik dalam kromosom diurutkan mulai dari jarak terdekat sampai jarak terjauh dari depot.

Fungsi Fitness

Kromosom-kromosom pada setiap generasi akan dievaluasi dengan menggunakan fungsi *fitness*. Suatu fungsi *fitness* digunakan untuk memberikan ciri dan mengukur seberapa baik sebuah solusi. Fungsi *fitness* untuk masalah ini sama dengan fungsi tujuan, yaitu untuk meminimisasi waktu tempuh keseluruhan.

$$\min z = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \left(c_{ij} \sum_{k=1}^K x_{ijk} \right) \dots\dots\dots (6)$$

Karena masalah ini adalah pencarian nilai minimum waktu tempuh, fungsi *fitness* dibuat berbanding lurus dengan fungsi waktu tempuh. Artinya, kromosom yang lebih *fit* (bugar) memiliki nilai *fitness* yang lebih kecil sehingga pada saat proses seleksi, kromosom yang terpilih adalah kromosom yang memiliki nilai *fitness*/waktu tempuh yang lebih kecil.

Seleksi (Selection)

Teknik seleksi yang digunakan untuk memilih kromosom yang memiliki nilai waktu tempuh minimum atau nilai *fitness*-nya yang paling kecil ini adalah teknik seleksi turnamen (*tournament selection*). Pada teknik seleksi ini akan dipilih dua buah kromosom secara acak dalam populasi, lalu dibandingkan berdasarkan nilai *fitness*-nya. Kromosom yang terpilih adalah kromosom yang memiliki nilai *fitness* yang lebih kecil yang kemudian akan disilangkan dengan kromosom yang terpilih lainnya untuk dilakukan proses persilangan. Teknik ini dipilih karena dapat mencari solusi terbaik dengan lebih efisien yang dirujuk dari penelitian sebelumnya oleh Prins (2002).

Penyilangan (Crossover)

Proses penyilangan adalah penukaran informasi genetik antara dua kromosom induk/*parent* yang terpilih dari proses seleksi untuk membentuk dua buah anak/*off spring*. Tujuan dari operasi penyilangan adalah menciptakan suatu populasi baru dengan nilai rata-rata *fitness* yang lebih baik dari pada populasi sebelumnya.

Beberapa rute yang terpilih pada proses seleksi akan dipilih untuk dilibatkan dalam proses *crossover*. Pemilihan dilakukan dengan membandingkan bilangan acak *r* dengan nilai probabilitas *crossover* (P_c) yang telah ditetapkan sebelumnya. Kemungkinan rute yang terlibat dalam proses *crossover* sebanyak $p_c \cdot \text{jumlah populasi}$. Proses *crossover* yang digunakan adalah *1-point crossover* karena merupakan metode yang sederhana dan memperbolehkan nilai gen yang sama yang dirujuk dari penelitian Prins (2004). Berikut ini tahapan dari proses *1-point crossover*:

- Kromosom baru pertama berisi gen pertama sampai gen *crossover point* dari kromosom induk pertama ditambah dengan gen dari *crossover point* sampai gen terakhir dari kromosom induk kedua. Kromosom baru kedua berisi gen pertama sampai gen *crossover point* dari induk kedua ditambahkan dengan gen dari *crossover point* sampai gen dari kromosom induk pertama. Dari ilustrasi di atas maka contoh penerapan metode *one-point crossover* adalah sebagai berikut:

Parent 1: 1 2 3 4 5 | 6 7 8 9
 Parent 2: 4 5 3 6 8 | 9 7 2 1

- Setelah proses *crossover* turunan yang dapat dihasilkan adalah dari kedua *parent* di atas adalah:

Descendant 1: 1 2 3 4 5 | 9 7 2 1
 Dencasant 2: 4 5 3 6 8 | 6 7 8 9

Mutasi (Mutation)

List populasi baru hasil dari proses *crossover* dipilih secara acak untuk dilibatkan dalam proses mutasi. Pemilihan gen tersebut dilakukan dengan membandingkan bilangan acak *r* dengan nilai probabilitas mutasi (p_m) yang telah ditetapkan sebelumnya. Metode yang digunakan untuk proses

mutasi adalah *uniform mutation* dengan tahapan sebagai berikut:

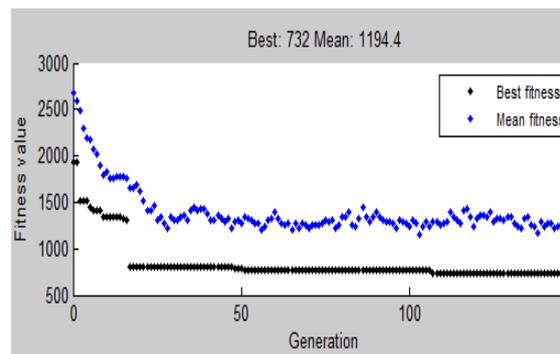
Sebuah titik dalam rute diambil secara acak dan disisipkan kembali dalam posisi acak yang baru. Misal rute (15326|6|725), titik 6 akan diganti secara acak dalam rute tersebut sehingga diperoleh rute (15326|1|725).

Evaluasi

Penyelesaian masalah VRP menghasilkan pembagian rute distribusi sayuran dari depot sentra produksi ke 6 (enam) kluster konsumen. Secara rinci pembagian rute distribusi dari depot sentra produksi sayuran dataran tinggi ke konsumen dapat dilihat pada Tabel 1. Waktu tempuh paling lama dari depot sampai kembali ke depot lagi sekitar 2 jam 12 menit. Dengan asumsi waktu penurunan barang sekitar 20 menit setiap titik, waktu maksimal yang dibutuhkan adalah 80 menit sehingga total waktu perjalanan dengan penurunan barang adalah 4 jam 2 menit (242 menit). Dengan menggunakan rute tidak tetap yang digunakan dalam pendistribusian PT Saung Mirwan sebelumnya, waktu rata-rata yang dibutuhkan adalah 6 jam (360 menit) termasuk penurunan barang. Dengan rute yang baru, efisiensi waktu pendistribusian dari depot ke seluruh konsumen yang dapat dicapai adalah 32,22%

Selain itu, terdapat pengurangan armada yang digunakan dengan jalur yang baru sebanyak satu truk sehingga armada yang digunakan adalah enam truk. Dengan demikian, solusi di atas menghasilkan efisiensi armada sebesar 14,28%. Dengan adanya peningkatan efisiensi ini, biaya pendistribusian dapat ditekan tanpa mengabaikan kendala-kendala yang ada.

Gambar 7 menunjukkan bahwa iterasi telah berhenti pada generasi ke-150 karena solusi optimum telah ditemukan. Selain itu, terlihat bahwa fluktuasi nilai rata-rata *fitness* pada tiap tiap generasi tidak terlalu signifikan. Namun terjadi penurunan *fitness* terbaik pada generasi ke-17. Penurunan nilai rata-rata *fitness* dengan pola konstan terjadi mulai dari generasi 0 sampai generasi 17. Selanjutnya pada generasi ke 18 sampai 150 terjadi fluktuasi *fitness* yang tidak signifikan, yaitu berkisar pada ± 30 dari nilai rata-rata *fitness*.

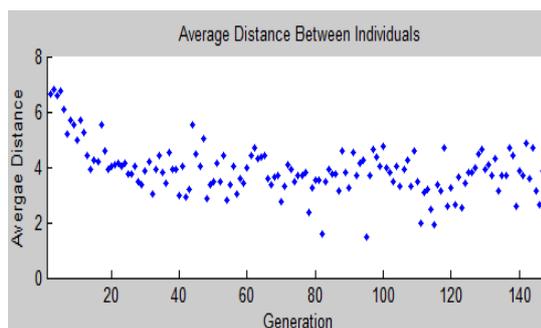


Gambar 7. Fluktuasi *fitness* tiap generasi

Tabel 1. Pembagian rute distribusi

No	Kapasitas (kg)	Titik yang dilewati	Estimasi jarak dan waktu
1	175	1 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	121 km, 1 jam 48 menit
		2 Hoka Hoka Bento, Ciracas	
		3 Carrefour Lebak Bulus, Jl. Lebak Bulus Raya 8	
		4 Domino Pizza, Jakarta	
		5 Ampera, Jakarta Selatan	
		6 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	
2	75	1 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	133 km, 2 jam 9 menit
		2 Pizza Marzano Kemang Raya, Jakarta	
		3 Bakmi Gajah Mada Melawai, Jakarta	
		4 Marché, Jakarta	
		5 Carrefour Mt Haryono, Pancoran	
		6 Cikopo Selatan, Megamendung.	
3	75	1 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	142 km, 2 jam 12 menit
		2 Mc Donalds Kelapa Gading D T	
		3 Farmers Market, Kelapa Gading	
		4 Hypermart, Kemayoran	
		5 Hotel Sultan, Jakarta Capital Region	
		6 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	
4	75	1 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	136 km, 2 jam 8 menit
		2 The Park Lane, Jalan Casablanca, Jakarta	
		3 Pacific Place, Kebayoran Baru	
		4 Shangri-la Hotel Jakarta, Jakarta Pusat	
		5 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	
5	175	1 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	129 km, 1 jam 49 menit
		2 Kamikaze, Jakarta	
		3 7-Eleven - Teluk Betung, Jakarta Capital Region	
		4 7-Eleven - Menteng, Jakarta Capital Region	
		5 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	
6	75	1 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	131 km, 1 jam 54 menit
		2 MOS Burger, Jakarta	
		3 Burger King, Tanah Abang	
		4 Bakmi Gajah Mada Sunda, Kebon Kacang	
		5 Jalan Cikopo Selatan, Megamendung, Jawa Barat	

Sebaran jarak antara individu tiap generasi tidak terlalu bervariasi antara generasi 1 sampai generasi 19 dapat dilihat pada Gambar 8. Variasi mulai terlihat pada generasi ke-20 sampai 150. Secara keseluruhan terlihat bahwa terjadi penurunan jarak antar individu terhadap generasi selanjutnya. Hal ini mengindikasikan solusi/individu yang diperoleh semakin baik untuk generasi berikutnya.



Gambar 8. Sebaran jarak antar individu tiap generasi

Total calon solusi dalam ruang pencarian (N_t) untuk kasus adalah 7^{21} calon solusi (termasuk *infeasible solution*). Generasi maksimum yang dicapai adalah 150. Sampai pada generasi ini, jumlah calon solusi yang telah dievaluasi (N_s) oleh algoritma genetika.

$$N_s = (150 \text{ generasi}) \times (500 \text{ solusi/generasi}) = 750000 \text{ calon solusi}$$

Persentase pencarian calon solusi yang dilakukan algoritma genetika dalam ruang pencarian (P_{search}) adalah:

$$P_{search} = (N_s/N_t) \times 100 \% = (750000 / 7^{21}) \times 100 \% = 1,3428 \times 10^{-12} \%$$

Persentase tersebut menghasilkan nilai yang sangat kecil sekali. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma genetika mampu menghasilkan solusi yang optimal tanpa harus mencoba kemungkinan yang banyak di ruang pencarian yang besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Metode algoritma genetika dapat diterapkan dalam penyelesaian VRP dengan mengambil studi kasus distribusi sayuran dari depot PT Saung Mirwan. Simulasi dilakukan dengan mencari solusi optimal ke lokasi distribusi sebagai titik tujuan. Solusi diperoleh dalam bentuk pembagian saluran distribusi sayuran dataran tinggi dengan memenuhi kendala antara lain kapasitas tiap-tiap kendaraan, jumlah kendaraan, dan permintaan. Pencarian solusi dilakukan dengan melibatkan beberapa nilai probabilitas *crossover* (P_c) dan nilai probabilitas mutasi (p_m). Penyelesaian VRP pada distribusi sayuran dataran tinggi menghasilkan pengurangan waktu pengiriman dari depot sentra ke konsumen sekitar 1 jam 58 menit dan efisiensi sebesar 32% dan pengurangan penggunaan jumlah armada dengan efisiensi 14%.

Saran

Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menggunakan asumsi jarak dan waktu tempuh dengan memperhitungkan faktor kemacetan; menambahkan kendala *multicompartment*; dan menggunakan algoritma genetika lanjutan seperti *steady state Genetic Algorithm* (ssGA).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiayai oleh Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Hibah Kompetitif Penelitian Strategis Nasional Nomor: 046/SP2H/PL/Dit.Litabnas /III/ 2013.

DAFTAR PUSTAKA

- Alvarenga GB, Mateus GR dan Tomi G. 2007. A Genetic and set partitioning two-phase approach for the vehicle routing problem with time windows. *Comp & Opr Res.* 34 (6): 1561-1584.
- Archetti C, Savelsbergh M, dan Hertz A. 2006. A tabu search algorithm for the split delivery vehicle routing problem. *Transport Sci.* 40 (1):64-73.
- Áslaug SB. 2004. Solving the vehicle routing problem with genetic algorithms [Tesis], Odense: Informatics and Mathematical modeling, Technical University of Denmark.
- Baker BM dan Ayechev MA. 2003. A genetic algorithm for the vehicle routing problem. *Comps & Opr Res.* 30 (5):787-800.
- Fisher M. 1995. Vehicle routing. *Handbooks of Opr Res Mgmt Sci.* 8:1-31.
- Garvin WM, Crandall HW, John JB, Spellman RA. 1957. Applications of linear programming in the oil industry. *Mgmt Sci.* 3: 407-430.
- Gavish B dan Graves SC. 1982. *Scheduling and Routing in Transportation and Distribution Systems: Formulations and New Relaxations.* Rochester: Graduate School of Management, University of Rochester.
- Gheysens FG, Golden BL, dan Assad A. 1984. A comparison of techniques for solving the fleet size and mix vehicle routing problem. *Opr Res Spec.* 6: 207-216.
- Golden B, Raghavan S, dan Wasil E. 2008. *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges.* New York: Springer.
- Koza JR. 1992. *Genetic Programming: On the Programming of Computers by Means of Natural Selection.* London: The MIT Press.
- Liu S, Huang W, dan Ma H. 2009. An effective genetic algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problems. *Transport Res. Part E.* 45:434-445.
- Jin M, Liu K, dan Eksioglu B. 2008. A column generation approach for the split delivery vehicle routing problem. *Opr Res Let.* 36 (2): 265-270.
- Morgan WS, Iwantoro, dan Lestari AS. 2004. Improving Indonesian vegetable supply chains. Di dalam: Johnson GI, Hofman PJ, editor. *Agri-product Supply Chain Management in Developing Countries. Proceeding of a Workshop*; Bali, 19-22 Agu 2003. Bali: ACIAR. hlm 139-141.
- Prins C. 2004. A simple and effective evolutionary algorithm for the vehicle routing problem. *Comp and Opr Res.* 31: 1985-2002.
- Prins C. 2002. Efficient heuristics for the heterogeneous fleet multitrip VRP with application to a large-scale real case. *J Math Model and Algorithms.* 1:135-150.
- Sarker RA dan Newton CS. 2008. *Optimization Modeling, a Practical Approach.* Boca Raton: CRC Press.
- Slamet AS, Marimin, Arkeman Y, Udin F. 2011. Studi peningkatan kinerja rantai pasok sayuran dataran tinggi di Jawa Barat. *J Agritech.* 31 (1):60-70.
- Slamet AS, Kartika L, Sukmawati A, Syamsun M. 2012. Analisis nilai tambah, manajemen resiko dan strategi daya saing pada rantai suplai sayuran dataran tinggi di indonesia. Di dalam Prosiding Seminar Hasil-Hasil Penelitian IPB, November 2012. Bogor.
- Subramaniana A, Pennab PHV, Uchoac E, Ochib LS. 2012. A hybrid algorithm for the heterogenous fleet vehicle routing problem. *Eur J Opr Res. Preprinted submit.*
- Wilck IV JH dan Cavalier TM. 2012. Genetic Algorithm for the split delivery vehicle routing problem. *Am J Opr Res.* 2: 207-216.

Yandra A, Seminar KB, dan Gunawan H. 2012.
*Algoritma Genetika: Teori dan Aplikasinya
untuk Bisnis dan Industri.* Bogor: IPB
Press.