

PERANCANGAN VEHICLE ROUTING PROBLEM PICK-UP AND DELIVERY MENGGUNAKAN ALGORITMA NEAREST NEIGHBOR DAN MULTI-START ADAPTIVE LARGE NEIGHBORHOOD SEARCH (MSALNS) PADA TRAYEK SEKUNDER POS LOGISTIC DISTRIBUTION CENTER TAMBUN PT POS LOGISTIK INDONESIA

DESIGN OF VEHICLE ROUTING PROBLEM PICK-UP AND DELIVERY USING NEAREST NEIGHBORS ALGORITHM AND MULTI-START ADAPTIVE LARGE NEIGHBORHOOD SEARCH (MSALNS) ON SECONDARY TRAYEK POS LOGISTIC DISTRIBUTION CENTER TAMBUN PT POS LOGISTIK INDONESIA

Anugerah Trisatryo¹, Muhammad Nashir A², Femi Yulianti³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

¹trisatryo@student.telkomuniversity.ac.id, ²nashirardiansyah@telkomuniversity.ac.id, ³femiyulianti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

PT.Pos Logistik Indonesia merupakan perusahaan distribusi pihak ketiga (3PL) yang memaksimalkan peluang bisnis logistik di Indonesia dengan mengoptimalkan jaringan PT.Pos Indonesia. Proses *pickup and delivery problem* (PDP) pada PT.Pos Logistik Indonesia menggunakan KBM yang beragam (*heterogeneous*), *time window* berdasarkan *shift*, dan permintaan muatan yang fluktuatif. Berdasarkan observasi dan wawancara dengan pihak perusahaan, penulis menemukan permasalahan yaitu utilitas KBM yang tidak optimal pada trayek sekunder. Berdasarkan target rata-rata utilitas PT.Pos Logistik pada trayek sekunder adalah sebesar 40% sedangkan persentase rata-rata utilitas kapasitas KBM yang dibandingkan dengan muatan masing-masing pada *outgoing* dan *incoming* adalah sebesar 18,702% dan 18,704%. Berangkat dari permasalahan tersebut, PT.Pos Logistik Indonesia membutuhkan perancangan rute yang dapat meningkatkan utilitas tiap kendaraan dengan mengunjungi lebih dari satu trayek yang akan selaras dengan tujuan meminimasi biaya operasional. Solusi yang diusulkan adalah perancangan rute menggunakan algoritma *multi start adaptive large neighborhood search* (MSALNS) yang didasari oleh dua fase, yaitu: fase I, mengelompokkan trayek berdasarkan jarak menggunakan algoritma *nearest neighbors* dan fase II menggunakan algoritma *adaptive large neighborhood search* (ALNS) sebagai solusi akhir dengan prosedur *removal* dan *insertion heuristic*. Dengan menugaskan kembali KBM pada tanggal 22-28 Desember 2019 berdasarkan rute eksisting dan membandingkan dengan solusi, peningkatan utilitas KBM sebesar 20% hingga 30%.

Kata kunci : *Vehicle Routing Problem (VRP), Pickup and Delivery Problem (PDP), Heterogeneous, Time Window, Multi Start Adaptive Large Neighborhood Search (MSALNS)*

Abstract

PT.Pos Logistik Indonesia is a 3PL company that optimizing the PT.Pos Indonesia networks in Indonesia. The *pickup-and-delivery problem* (PDP) process at PT.Pos Logistik Indonesia uses *heterogeneous KBM, time windows based on shift, and fluctuating cargo demand*. Based on observations and interviews, the author found a problem, that the utility of KBM is not optimal on secondary routes. Based on the average of PT. Pos Logistik utility target on the secondary route is 40%, while the average percentage of KBM capacity utility for *outgoing* is 18.702% and *incoming* is 18.704%. Departing from these problems, PT.Pos Logistik Indonesia requires route design that can increase the utility of each vehicle by visiting more than one route which will be in line with the aim of minimizing operational costs. The proposed solution is to design a route using the *multi start adaptive large neighborhood search* (MSALNS) algorithm, which is based on two phases, namely: phase I, grouping routes based on distance using the *nearest neighbors* algorithm and phase II using the *adaptive large neighborhood search* (ALNS) algorithm as the final solution with a *heuristic removal and insertion procedure*. By reassigning the KBM on existing route on 22-28 December 2019 compared with the solution, the KBM utility increases by 20% to 30%.

Keywords : *Vehicle Routing Problem (VRP), Pickup and Delivery Problem (PDP), Heterogeneous, Time Window, Multi Start Adaptive Large Neighborhood Search (MSALNS)*

1. Pendahuluan

Penyelesaian *pickup and delivery problem* (PDP) menjadi permasalahan utama pada perusahaan seperti layanan transportasi pasien di rumah sakit (Qu & Bard, 2013), pelayanan kargo (Ninikas et al., 2014b), dan pengiriman logistik ke *supplier* (Chu & Hsu, 2019). PT. Pos Logistik Indonesia yang merupakan salah satu perusahaan distribusi pihak ketiga logistik (*third-parties logistic*) di Indonesia, berdasarkan hasil pengamatan dan wawancara yang telah dilakukan dengan VP General Affairs PT. Pos Logistik Indonesia, ditemukan sebuah permasalahan pada trayek sekunder *Pos Logistic Distribution Center* (PDC) di Tambun, sebagai hub^[1] dan Kantor Pos Regional sebagai *spoke* dalam kegiatan *pickup and delivery*. Utilitas pengiriman (*outgoing*) dan penjemputan (*incoming*) secara berturut-turut adalah 18,681% dan 17,387%, nilai tersebut tidak mencapai target utilitas PT. Pos Logistik Indonesia yaitu sebesar 40% untuk masing-masing *incoming* dan *outgoing*. Analisis sederhana telah dilakukan dengan melonggarkan salah satu parameter (*time window*, trayek, dan pemilihan KBM) yaitu pemilihan KBM yang sesuai dengan muatan menghasilkan selisih kenaikan utilitas *incoming* sebesar 11,40% dan *outgoing* sebesar 4,61% dari utilitas rute eksisting. Hal ini menunjukkan bahwa dibutuhkan metode yang tepat agar dapat meningkatkan utilitas KBM.

Permasalahan utama yang ditemui pada PT. Pos Logistik Indonesia di PDC Tambun yaitu mengenai utilitas KBM yang tidak optimal pada trayek sekunder. Solusi untuk masalah yang diangkat dalam penelitian ini memiliki kemiripan dengan beberapa penelitian terdahulu. Berdasarkan hasil ulasan penelitian-penelitian terdahulu tentang VRP varian *Split Deliveries* dan *Time Window* menggunakan *branch and bound* algoritma Desaulniers et al (2010), VRP varian *Multi Period* bertujuan untuk optimasi perencanaan penugasan armada secara dinamis pada pelayanan kargo menggunakan *insertion-based heuristic* (Ninikas et al., 2014a), VRP varian *Time Window* bertujuan untuk meminimasi total biaya operasional terhadap pemilihan armada investasi dan sewa menggunakan algoritma heuristik (Clarke and Wright) (Chu & Hsu, 2019), VRP varian *Time Window* bertujuan untuk perancangan rute distribusi barang menggunakan algoritma *nearest neighbors* dan algoritma genetika (Muhammad S, 2018), algoritma *nearest neighbors* dan *two-phase tabu search algorithm* (Ludfenia R, 2018), VRP varian *Pick-up and Delivery* menggunakan *Hybrid Genetic Algorithm-Tabu Search* (Fajria Amalia, 2018), VRP varian Heterogeneous Fleet dan *Pickup and Delivery* bertujuan mengoptimasi perancangan rute pada pelayanan logistik pasien rumah sakit menggunakan algoritma *multi-start, adaptive large neighborhood search* (MSALNS) yang dirancang dengan dua-fase, yaitu fase pertama menggunakan *greedy* yang mekonstruksikan *randomized construction* prosedur dilanjutkan fase kedua menggunakan algoritma *adaptive large neighborhood search* (ALNS) menggunakan *reinsertion heuristic* sehingga mencapai local-optima^[2] (Qu & Bard, 2013).

Persamaan permasalahan dan parameter pada jurnal (Qu & Bard, 2013) dengan eksisting pada proses transportasi PDC Tambun menjadi relevan terhadap penggunaan algoritma dengan adanya inovasi di penelitian ini pada fase pertama menggunakan algoritma *nearest neighbors* untuk pembangunan rute yang mempertimbangkan jarak pada pilihan rute selanjutnya yang terdapat pada penelitian sebelumnya (Sanin Hutasoit et al., n.d.), (Pop et al., 2011), (Du & He, 2012), dan pada penelitian (Mukhsinin et al., n.d.) menggunakan metode algoritma *local search* yang berfungsi untuk mengoptimasi *initial solution* algoritma *nearest neighbors* dengan cara memindah-mindahkan pelanggan dalam satu rute dan menyisipkan satu atau lebih pelanggan pada salah satu rute. Penulis mengidentifikasi *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan varian *Heterogeneous Fleet, Pickup & Delivery*, dan *Time Window* menggunakan dua fase metode algoritma *nearest neighbors* pada fase pertama dan algoritma *multi-start, adaptive large neighborhood search* (MSALNS) pada fase kedua.

Pada *local search* dalam penentuan neighbour^[3] selanjutnya dengan tujuan meningkatkan *local optima*, beberapa heuristic yang berbeda dapat digunakan sesuai dengan *intensification*^[4] atau *diversification* dari setiap heuristic. *Large Neighborhood Search* (LNS) merupakan perkembangan local search menggunakan *greedy local search* sederhana di mana pencarian dalam rute dihasilkan secara acak. Pencarian didasarkan pada *relaxed* dan *reoptimization*, dimana posisi beberapa kunjungan pelanggan dalam jadwal dilonggarkan dan kemudian posisi tersebut dioptimalkan ulang didasari oleh penelitian (Shaw, 1997). Selanjutnya, *Adaptive Large Neighborhood Search* (ALNS) menggunakan statistik dalam penentuan setiap nilai iterasi sebelumnya secara otomatis. Nilai heuristic pada parameter yang terpilih menentukan kesuksesan heuristic berdasarkan penelitian (Ropke & Pisinger, 2006). Komponen *Adaptive Multi Start* (AMS) dijelaskan oleh (Boese et al., 1994) tentang *greedy_decent* yang menggunakan prosedur *iterative*^[5] dalam menentukan sebuah solusi secara *random* hingga mencapai *local minimum*. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Qu & Bard, 2012, 2013) berhasil memformulasikan *multi-start, adaptive large neighborhood search* (MSALNS) dengan dua fase diawali dengan fase pertama yaitu menentukan solusi awal dengan menempatkan seluruh rute (*node*) secara *random* dengan batasan *time window* untuk setiap

tur^[6] yang *output* nya diberikan notasi (SS_1). Fase kedua, diawali dengan *input* dari solusi (SS_1) yang diawali dengan prosedur *removal heuristic* dengan pemilihan secara *random* berdasarkan *insertion weight value* (iw_1, iw_n) terhadap *removal heuristic* (rh_1, rh_2, rh_3), dilanjutkan dengan pemilihan *randomized construction* secara *random* berdasarkan *insertion weight value* (iw_1, iw_n) terhadap *insertion heuristic* (ih_1, ih_2, ih_3, ih_4) hingga seluruh rute berada didalam solusi ($(U(S)) = 0$), diakhiri dengan prosedur *reinsertion* yang menentukan *local optima* dari biaya operasional dengan syarat $COST(S_{tmp}) < COST(S)$. Untuk mencapai tujuan *global optimum*, *meta-heuristic* mengimplementasikan berbagai jenis pencarian solusi (*meta-search*) sebagai penempatan setiap prosedur heuristic, parameter yang sesuai objek penelitian (Laurent & Charles, 2015)

2. Dasar Teori

2.1 Transportasi

Supply Chain mencakup seluruh aliran dan transformasi barang dari bahan mentah hingga *end user* tercakup didalamnya aliran material dan informasi. *Supply chain Management* merupakan integrasi dari proses kegiatan yang meningkatkan hubungan antar komponen *supply chain* yang bertujuan untuk mencapai sebuah keunggulan kompetitif yang berkelanjutan. Didalam prosesnya terdapat beberapa kegiatan utama didalam *supply chain*, seperti: manajemen pergudangan, transportasi, aliran informasi, dan pelayanan pelanggan (Ballou R et al, 1992). Pada organisasi manufaktur, *supply chain management* termasuk kedalam seluruh fungsi yang berkaitan dengan penerimaan dan pemenuhan permintaan konsumen. Transportasi menjadi penggerak yang penting didalam rantai pasok karena produk yang diproduksi dan dikonsumsi berada di lokasi yang berbeda. Transportasi adalah sebuah komponen yang paling berpengaruh terhadap biaya yang dikeluarkan dalam rantai pasok secara mayoritas (Chopra, 2012)

Berdasarkan glosarium terhadap aturan [207] oleh *Council of Supply Chain Management Professional (CSCMP)*, Logistik adalah “Proses prosedur dari perencanaan, penerapan, dan pengendalian untuk efisiensi dan efektivitas dari transportasi dan penyimpanan barang termasuk jasa dan informasi dari titik awal menuju titik konsumsi dengan tujuan memberikan penyesuaian terhadap kebutuhan konsumen. Pengertian tersebut juga termasuk dalam kegiatan barang yang masuk, barang yang keluar, internal, eksternal” (Tsiatsis et al., 2019). Berdasarkan *International Monetary Fund (IMF)* biaya logistik mencakup sekitar sebesar 12 persen dari produk domestik bruto dunia. Pada setiap perusahaan, biaya logistik memiliki kisaran dari 4 persen hingga mencapai 30 persen dari penjualan. Transportasi merupakan persentase terbesar biaya distribusi dalam sebuah perusahaan berdasarkan penelitian (Davis W et al, 2002).

Transportasi memindahkan produk antara tahap yang berbeda di dalam rantai pasok dan mempengaruhi responsivitas dan efisiensi secara bersamaan. Transportasi yang lebih cepat juga selaras dengan harga yang lebih mahal namun dapat meningkatkan responsivitas sebuah *supply chain*. Sebuah observasi bahwa aktivitas transportasi, pergudangan, dan inventaris mungkin dilakukan oleh manufaktur dan pengecer atau *outsourcing* kepada pihak lain, yang disebut 3PL. Definisi sebuah 3PL berdasarkan CSCMP adalah “..*outsourcing* kegiatan logistik sebuah perusahaan kepada perusahaan khusus”(Tsiatsis et al., 2019).

2.2 Vehicle Routing Problem (VRP)

Vehicle Routing Problem (VRP) adalah sebuah masalah dalam menemukan rute pengiriman atau penjemputan yang optimal dari satu atau beberapa depot ke sejumlah kota atau pelanggan, untuk memenuhi batasan-batasan. *Pickup and delivery problem (PDP)* adalah sebuah permasalahan dengan mencari sebuah set rute yang optimal, untuk sebuah armada kendaraan, dengan tujuan melayani kumpulan dari permintaan transportasi. Setiap kendaraan dari armada kendaraan diberikan kapasitas, titik awal, and titik akhir. Setiap permintaan transportasi dilengkapi dengan muatan yang diangkut, titik awal, dan sebuah lokasi destinasi. Dengan kata lain, permasalahan PDP berkaitan dengan membangun rute yang optimal sehingga dapat mengunjungi seluruh lokasi PDP dan memenuhi prioritas, serta menemukan batasan-batasan. Batasan prioritas berhubungan dengan kondisi yang terbatas, dimana setiap lokasi penjemputan harus dikunjungi dahulu untuk mengunjungi lokasi pengiriman yang sesuai. *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)* dengan batasan kapasitas dan setiap pelanggan (i) berkaitan dengan jarak waktu [a_i, b_i], disebut *time window* dan dengan durasi waktu (s_i), disebut waktu pelayanan. Batasan-batasan tersebut dibatasi oleh waktu setiap pelanggan dapat menerima sebuah pengiriman. Permasalahan ini terkait dengan dunia nyata, karena asumsi ketersediaan lengkap dari waktu ke waktu oleh pelanggan yang dibuat di *Capacitated VRP (CVRP)* sering kali tidak realistis. *Time window* dapat ditentukan berdasarkan jangkauan apa saja, dari hari menuju menit, namun jangkauan tersebut selalu bersinggungan dengan cakrawala waktu perencanaan. Keberadaan *time window* memaksakan serangkaian prioritas pada kunjungan, yang membuat masalah menjadi asimetris, bahkan jika matriks jarak dan waktu awalnya simetris (Origins et al., n.d.).

2.3 Algoritma Multi-Start Adaptive Large Neighborhood Search (MSALNS)

Penyelesaian VRP dalam konteks *Local Search* terbagi menjadi dua, yaitu : *Small Neighborhood Search* (*Simulated Annealing* dan *Tabu Search*) dan *Large Neighborhoods Search* (LNS). Berdasarkan penelitian acuan yang digunakan yaitu *Multi-Start Adaptive Large Neighborhood Search* (MSALNS), metode tersebut merupakan perkembangan dari *Large Neighborhoods Search* (LNS) yang merupakan pengoptimalan yang menggunakan prosedur *greedy local search* di mana pencarian dalam rute dihasilkan secara *random*. Suatu langkah diterima jika mengurangi biaya, dan sebaliknya ditolak. Metode berhenti setelah jangka waktu tertentu. Pencarian *greedy* telah digunakan karena sederhana, cepat, dan memadai untuk memberikan hasil yang sangat baik untuk tolok ukur masalah yang dipelajari. Operator pemindahan didasarkan pada *relaxed* dan *reoptimization*, dimana posisi beberapa kunjungan pelanggan dalam jadwal dilonggarkan dan kemudian posisi tersebut dioptimalkan kembali. Ini dilakukan sebagai berikut : serangkaian kunjungan pelanggan dipilih dan dihapus dari jadwal. Serangkaian kunjungan ini menjadi ciri perpindahan tersebut. Kunjungan tersebut kemudian dimasukkan kembali ke dalam jadwal dengan biaya optimal. *Reinsertion* ini dilakukan dengan menggunakan prosedur *branch and bound*, dengan batasan ditetapkan pada biaya solusi sebelum *relaxed* (Shaw, 1997). Perkembangan penelitian selanjutnya adalah *adaptive large neighborhood search* (ALNS) menggunakan statistik dilakukan dalam penentuan setiap nilai iterasi sebelumnya secara otomatis. Tujuannya adalah untuk menetapkan nilai pada setiap heuristik, dengan melihat hasil heuristik sebelumnya. Nilai koresponden yang tinggi menentukan kesuksesan heuristik (Ropke & Pisinger, 2006). Prosedur *Adaptive Multi-Start* (AMS) heuristic yang memiliki banyak kesamaan dengan algoritma *genetic local search* menjadi sebuah komponen dalam proses menentukan *local minima*. Fase diawali dengan membentuk solusi *random* dan menjalankan proses *Greedy_Descent* (proses solusi *random* untuk menemukan solusi awal terkecil dari iterasi sebelumnya) untuk menentukan solusi berdasarkan *random local minima*, dilanjutkan dengan membangun solusi awal yang *adaptive* untuk menjalankan proses *Greedy_Descent* sebanyak A kali untuk mendapatkan solusi yang sesuai terhadap *adaptive local minima* (Boese et al., 1994). Penelitian terbaru oleh (Qu & Bard, 2013) merancang seluruh komponen *Local Search* untuk menyelesaikan VRP pada perusahaan layanan transportasi pasien di rumah sakit dengan menggunakan dua fase algoritma *multi-start, adaptive large neighborhood search* (MSALNS) sesuai dengan prosedur berikut:

- a. Langkah 0
Input data Solusi Awal (S_1), waktu operasional maksimal (T_{II}^{max}), jumlah iterasi maksimal (N_{II}^{max}), jumlah proporsi yang akan dihapus μ , heuristik *removal* (rh_1, \dots, rh_{nr}), heuristik *insertion* (ih_1, \dots, ih_{nr}).
- b. Langkah 1
Inisialisasi, menentukan $S = S_1$, reset waktu operasional $T_{run} = 0$, perhitungan iterasi $iter = 0$;
Menentukan μ permintaan yang akan di *removal*
Menentukan nilai *removal heuristic weights* (rw_1, \dots, rw_{nr})
Menentukan nilai *insertion heuristic weights* (iw_1, \dots, iw_{nr})
- c. Langkah 2
Menentukan S_{tmp} sebagai S ;
- d. Langkah 3
Pilih secara acak sebuah *removal heuristic* (rh_i) berdasarkan berat (*weight value*) dan menghapus persentase μ dari pelanggan dari rute S_{tmp} ;
Pelanggan yang dihapus dimasukkan ke $U(S_{tmp})$;
Codingan : Random number, limit 0-10, (rh_1, rh_2, rh_3).
- e. Langkah 4
Menentukan S_{tmp} hasil dari **Randomized_Construction**($S_{tmp}, \{ ih_1, \dots, ih_{ni} \}, \{ iw_1, \dots, iw_{nr} \}$);
Randomized Construction :
- f. Langkah 4.0
Solusi utama S_0 , satuan *insertion heuristic* $\{ ih_1, \dots, ih_{ni} \}$, nilai berat (*weight value*) $\{ iw_1, \dots, iw_{nr} \}$
- g. Langkah 4.1
Set $S = S_0$
Memilih secara acak sebuah *insertion heuristic* ih_i berdasarkan data berat.
- h. Langkah 4.2
Ketika ($|U(S)| > 0$),
Membuat list pesanan (OL) dari pelanggan $U(S)$ berdasarkan ih_i ;
Menentukan nomor acak $rand \in [0.1]$;
Memilih pelanggan selanjutnya (c) kedalam rute berdasarkan pilihan acak dari OL
Mencari posisi terbaik $\wedge c$ kedalam pelanggan (c) yang ada di rute S;
Jika ($\wedge c$ exist), lalu
Ganti S dengan $\wedge c$ dan menghapus c dari rute yang belum terpilih
($U(S)$) untuk mendapatkan $S = S'(S, \wedge c)$;
Else
Lanjut ke Langkah 3
- i. Langkah 4.3

Kembali ke set S

j. Langkah 4.4

Memperbarui $\{ih_1, \dots, ih_{ni}\}, \{iw_1, \dots, iw_{nr}\}, \mu$;

Memperbarui T_{run} dan memasukkan iter \rightarrow iter +1;

Jika biaya pada $(COST(S_{tmp}) < COST(S))$, lalu ubah S menjadi S_{tmp} ; Kembali ke Langkah 2

k. Langkah 5

Jika waktu operasional melebihi batasan waktu operasional dan jumlah iterasi maksimum, maka.

Jadikan $S = \text{Reinsertion_LS}(S)$

Reinsertion_LS(S)

l. Langkah 5.0

Solusi utama S_0

m. Langkah 5.1

Set $S = S_0$

Menghapus c pada rute dan memasukkan kedalam $U(S_{tmp})$;

Mencari iterasi terbaik c untuk c kedalam rute S_{tmp}

Dengan syarat jika $COST(S_{tmp}) < COST(S)$, lalu set $S = S_{tmp}$, lanjut menuju Langkah 1

n. Langkah 5.2

Kembali ke S

2.4 Algoritma Nearest Neighbors

Algoritma Nearest Neighbours(ANN) aturannya selalu menuju lokasi terdekat yang belum dikunjungi sesuai ketentuan berikut : dimulai dari depot, setiap tur/kelompok rute hanya mengunjungi satu kali, dan jumlah seluruh *demand* tidak memenuhi kapasitas maksimum (Q_{maks}). Jika jumlah seluruh *demand* pada satu tur melebihi kapasitas maksimum(Q_{maks}), maka tur akan mengulangi proses dari awal. Jika seluruh lokasi sudah dikunjungi, algoritma akan berakhir. Kumpulan rute yang melintasi tepat satu kota atau konsumen dari setiap cluster dalam urutan yang dibangun merepresentasikan output algoritma. Algoritma Nearest Neighbors mudah diimplementasikan dan dieksekusi dengan cepat, tetapi terkadang dapat melewatkan rute yang lebih pendek, karena sifatnya yang menggabungkan beberapa *demand*. Waktu berjalan dari algoritma Nearest Neighbors yang dijelaskan adalah $O(n^2)$ (Pop et al., 2011). Algoritma Nearest Neighbours(ANN) sebagai salah satu pilihan untuk menghasilkan solusi awal pada penelitian (Sanin Hutasoit et al., n.d.) dan (Du & He, 2012) yang sesuai dengan prosedur berikut:

a Langkah 1

Input data muatan permintaan setiap pelanggan (W_i, W_o), jarak antara depot ke pelanggan dan pelanggan ke pelanggan ($D_{0,\dots}, D_n$), Muatan KBM (Q). Lanjutkan ke langkah 2.

b Langkah 2

Inisialisasi awal, rute ($r=1$) dan tur ($t=1$). Lanjutkan ke langkah 3.

c Langkah 3

Lokasi awal dari depot. Lanjutkan ke langkah 4.

d Langkah 4

Menentukan kapasitas (Q) = 2500, 4000, 8000, dan 12000 kg, lanjutkan ke langkah 5.

e Langkah 5

Hapus titik awal sebelumnya, cari pelanggan yang memiliki jarak terpendek dari lokasi terakhir, lanjut ke langkah 6.

f Langkah 6

Jika $Q < \{W_i, W_o\}$, jumlah muatan yang dipenuhi adalah sejumlah Q dan lanjutkan ke langkah 8, jika $Q \geq \{W_i, W_o\}$ maka jumlah permintaan yang dipenuhi sejumlah permintaan pelanggan $\{W_i, W_o\}$, kemudian tandai pelanggan telah terlayani dan lanjutkan ke langkah 7.

g Langkah 7

Menghitung nilai Q yang tersisa, $Q_n = Q + W_{in} - W_{on}$, n = urutan destinasi. Lanjutkan ke langkah 8.

h Langkah 8

Jika $\{W_i, W_o\} \leq 0$, jika ya lanjutkan ke langkah 10, jika tidak lanjutkan ke langkah 9.

i Langkah 9

Buat rute baru (r), $r = r + 1$. Kembali ke langkah 3.

j Langkah 10

Buat tur baru (t), $t = t + 1$. Kembali ke langkah 3.

k Langkah 11

Jika semua pelanggan telah terlayani, lanjutkan ke langkah 12, jika tidak ke langkah 5.

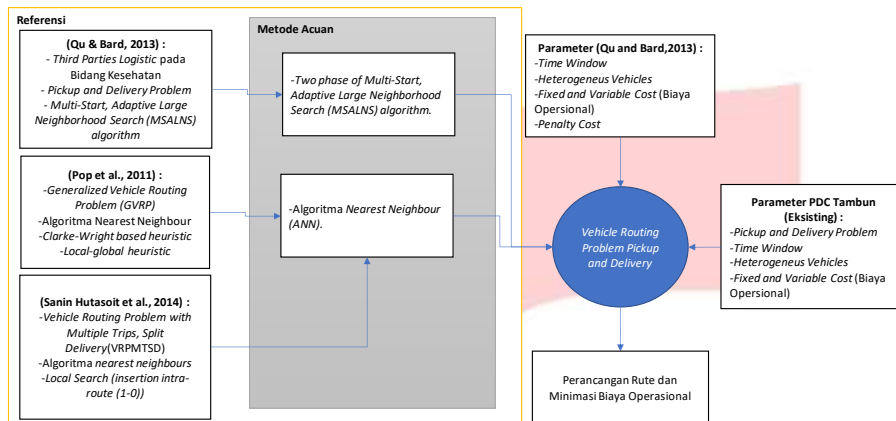
l Langkah 12

Rute dan tur sudah terbentuk, prosedur selesai.

3. Model Konseptual

Dalam penelitian tugas akhir diperlukan adanya model konseptual dimana model konseptual ini merupakan kerangka kerja yang menggambarkan keterkaitan atau hubungan antar variable yang digunakan di dalam penelitian agar dapat memecahkan masalah secara terstruktur dan sistematis.

Gambar 1 menjelaskan mengenai gambaran secara garis besar tentang permasalahan yang diangkat di dalam tugas akhir yaitu *Vehicle Routing* varian *Problem Pickup And Delivery*. Metode acuan yang digunakan adalah dua fase algoritma *Multi-Start Adaptive Large Neighborhood Search* (MSALNS) yang diperoleh dari referensi (Sanin Hutasoit et al., n.d.) membahas tentang *pickup and delivery* yang diawali dengan solusi awal menggunakan algoritma *Nearest Neighbors* (ANN) berdasarkan penelitian penelitian (Du & He, 2012) dan (Du & He, 2012). Ada beberapa parameter yang sesuai dengan jurnal acuan (Qu & Bard, 2013) pada *vehicle routing problem pickup and delivery* diantaranya adalah ; *time window, fixed and variable cost, heterogeneous vehicle, pickup and delivery problem, dan penalty cost*.

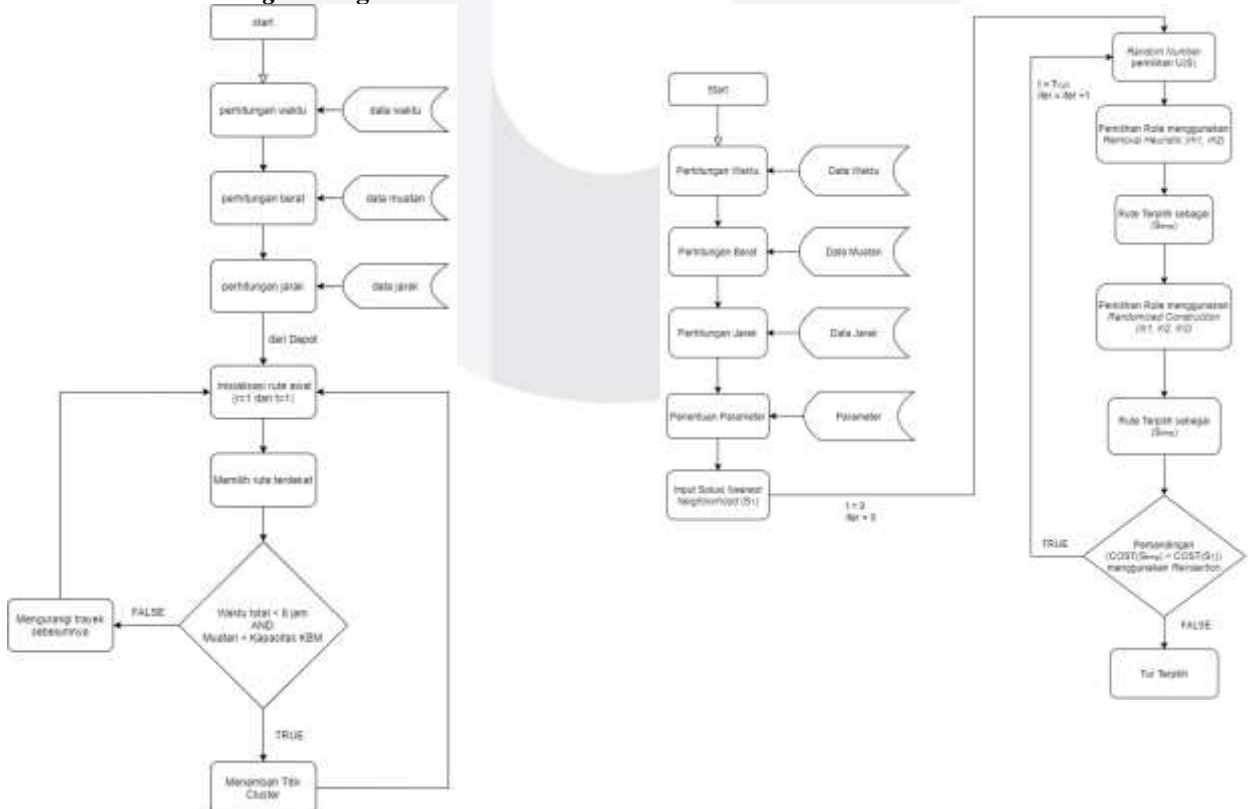


Gambar 1 Model Konseptual

Proses penyelesaian *Vehicle Routing Problem* berdasarkan parameter yang sudah di sesuaikan dengan *real case* antara PDC Tambun dan jurnal acuan (Qu & Bard, 2013) dengan menggunakan algoritma *Nearest Neighbour* (ANN) dan dua fase algoritma *Multi-Start Adaptive Large Neighborhood Search* (MSALNS) untuk menghasilkan perancangan rute usulan dan meminimasi biaya operasional PDC Tambun.

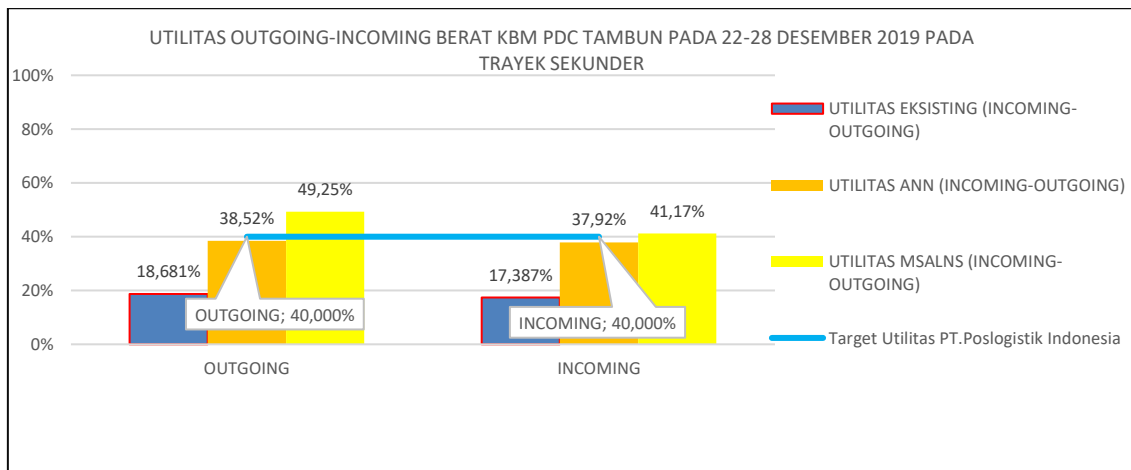
4. Pembahasan

4.1 Flowchart Diagram Algoritma



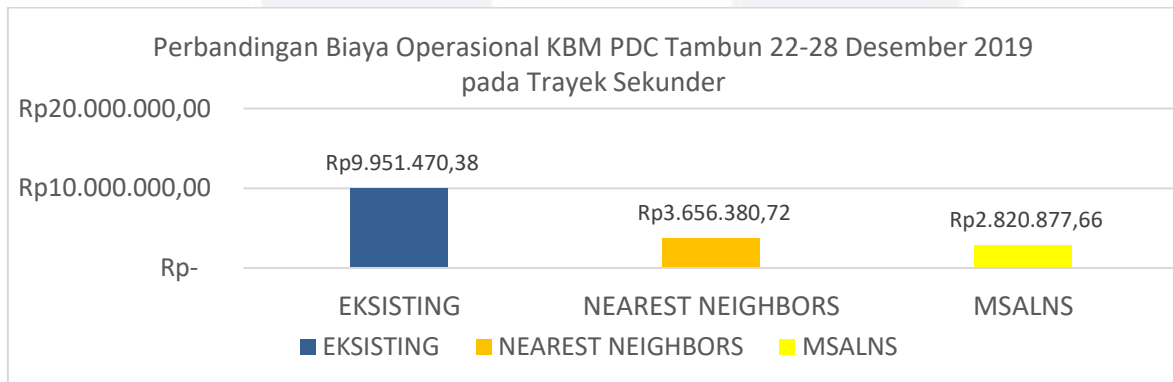
Gambar 2 Flowchart Diagram Algoritma Nearest Neighbors – MSALNS

4.2 Perbandingan Utilitas dan Biaya Operasional Usulan



Gambar 3 Perbandingan Utilitas Outgoing dan Incoming Berat KBM PDC Tambun 22-28 Desember 2019 pada Trayek Sekunder

Rute eksisting merupakan rute yang sudah menjadi ketentuan di PT. Pos Logistik, Berdasarkan gambar diperoleh nilai eksisting rata-rata total biaya operasional trayek sekunder PDC Tambun pada 22 hingga 28 desember adalah sebelah Rp 11.024.111,62. Solusi yang diperoleh dari hasil yang didapatkan berdasarkan nilai nearest neighbors setelah diformulasikan kembali menggunakan algoritma MSALNS (prosedur *removal* dan *insertion*) sehingga menghasilkan biaya operasional hasil MSALNS sebesar Rp 2.820.877,66. Nilai tersebut memiliki 74,41% jika dibandingkan dengan rute eksisting yang ada. Data utilitas yang dihasilkan dari setiap metode yang digunakan, MSALNS berhasil merancang rute dengan utilitas *incoming* sebesar 41,17% dan *outgoing* sebesar 49,25%. Kedua nilai tersebut berada diatas target utilitas PT. Poslogistik yaitu sebesar 40%.



Gambar 4 Perbandingan Biaya Operasional KBM PDC Tambun 22-28 Desember 2019 pada Trayek Sekunder

4.3 Rute Eksisting – MSALNS

Berdasarkan tabel rute eksisting yang diperoleh pada tanggal 22-28 Desember 2019, tidak terdapat utilitas yang mencapai target PT.Pos Logistik yaitu sebesar 40% namun pada tabel rute MSALNS utilitas *outgoing* mengalami peningkatan sebesar 30,57% dari 18,68% menjadi 49,25% dan utilitas *incoming* mengalami peningkatan sebesar 23,78% dari 17,39% menjadi 41,17% terhadap utilitas *incoming* dan *outgoing* rute eksisting. Jumlah KBM sebanding dengan jumlah tur yang ada, mayoritas tipe KBM yang digunakan pada rute MSALNS adalah KBM tipe 9320 sedangkan rute eksisting adalah KBM tipe 3870 dengan rata-rata jumlah KBM yang digunakan berkurang dari 26 menjadi 6. Rata-rata waktu tempuh yang dibutuhkan untuk setiap tur meningkat dari awal rute eksisting yaitu sebesar 57 menit 51 detik menjadi 4 jam 8 menit 43 detik Hal tersebut masih menjadi batas solusi *time window* pada penelitian ini yaitu 8 jam.

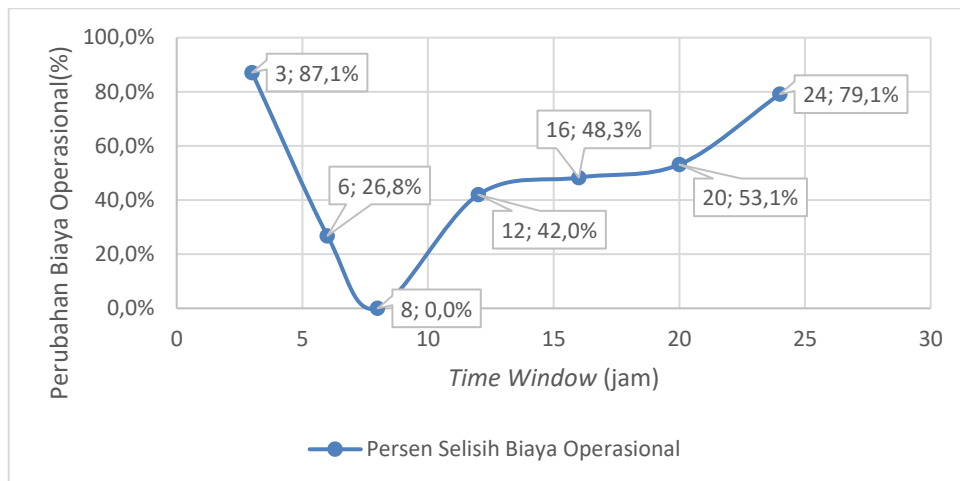
Tabel 1 Tabel Kesimpulan Analisis Rute Eksisting

Tanggal		22	23	24	25	26	27	28	Rata-Rata
Keterangan									
OUTGOING	Muatan(Kg)	9.112,02	21.131,02	27.653,96	1.736,90	27.608,00	29.687,18	26.951,11	20.554,31
	Utilitas (%)	12%	22,09%	13,26%	19,65%	32,20%	18,03%	13,53%	18,68%
INCOMING	Muatan (KG)	3.699,72	23.923,58	16.482,74	12.409,92	27.820,62	23.514,74	18.666,43	18.073,96
	Utilitas (%)	2,39%	24,34%	14,98%	16,12%	19,67%	24,68%	19,54%	17,39%
Jumlah KBM	3540	2	3	2	2	12	3	3	
	3870	6	13	14	5	10	13	14	
	5280	7	13	11	7	9	12	13	
	9320	1	3	1	1	1	2	2	
Waktu Tempuh (HH:MM)/Tur/KBM		00:59	00:57	01:05	01:02	00:50	00:55	00:57	00:57:51
Jarak (KM)/Tur/KBM		52,04	47,81	56,46	53,56	42,27	46,36	48,15	49,52
Jumlah Tur		16	32	28	15	32	30	32	26

Tabel 2 Tabel Kesimpulan Analisis Rute MSALNS

Tanggal		22	23	24	25	26	27	28	Rata-Rata
Keterangan									
OUTGOING	Muatan (KG)	9.112,02	21.131,02	27.653,96	1.736,90	27.608,00	29.687,18	26.951,11	20.554,31
	Utilitas (%)	54,77%	53,99%	49,21%	48,02%	56,57%	47,83%	34,38%	49,25%
INCOMING	Muatan (KG)	3.699,72	23.923,58	16.482,74	12.409,92	27.820,62	23.514,74	18.666,43	18.073,96
	Utilitas (%)	10,44%	51,55%	43,41%	18,64%	53,82%	50,11%	60,23%	41,17%
Jumlah KBM	3540	2	6	4	2	2	2	3	
	3870	1	-	-	-	1	1	1	
	5280	1	-	1	-	-	-	-	
	9320	-	2	1	2	4	4	3	
Waktu Tempuh (HH:MM)/Tur/KBM		05:02	04:01	04:28	03:35	04:35	03:32	03:48	04:08:43
Jarak (KM)/Tur/KBM		288,57	202,16	239,51	196,2	238,38	197,64	210,23	224,67
Jumlah Tur		4	8	6	4	7	7	7	6

4.4 Analisis Sensitivitas Parameter *Time Window* dan Biaya Operasional



Gambar 5 Analisis Sensitivitas Parameter *Time Window* dan Biaya Operasional

Berdasarkan Gambar 5 merupakan diagram analisis sensitivitas parameter time window terhadap biaya tetap berdasarkan data demand pada tanggal 26 Desember 2019 menggunakan algoritma MSALNS. Perubahan parameter time window menyebabkan perubahan biaya operasional yang dijelaskan sebagai berikut,

- Grafik merupakan nilai mutlak dari selisih persen biaya operasional menggunakan time window tertentu terhadap biaya operasional menggunakan time window eksisting yaitu 8 jam.
- Rata-rata waktu tempuh tiap rute pendistribusian trayek sekunder adalah 1 jam 38 menit.
- Penentuan time window yaitu 3 jam memiliki nilai selisih dibandingkan time window (8 jam) yaitu hingga 87% dikarenakan peningkatan jumlah penugasan truk(KBM) yang seiring dengan jumlah demand sehingga pada setiap tur hanya diwakili dengan satu rute.

Dapat disimpulkan bahwa biaya operasional sensitif terhadap perubahan parameter time window.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan diuraikan kedalam poin sebagai berikut:

- Nilai utilitas yang diperoleh dengan menggunakan metode perhitungan Algoritma MSALNS adalah incoming sebesar 41,17% dan outgoing sebesar 49,25%. Nilai tersebut berada diatas target utilitas PT Poslogistik yaitu 40%.
- Biaya operasional pada rute eksisting yang semula adalah sebesar Rp 11.024.111 dapat direduksi sebesar 74,41% dengan menggunakan metode perhitungan Algoritma MSALNS yang memperoleh biaya operasional sebesar Rp 2.820.877,66.
- Analisis Sensitivitas parameter *time window* terhadap biaya operasional merupakan penetapan *time window* setiap shift. Sesuai analisis, *time window* sensitive terhadap output dari penelitian ini yaitu biaya operasional yang menjadi salah satu factor yang harus dipertimbangkan dalam menentukan jangka *time window* setiap shift yang akan berpengaruh terhadap responsifitas dan minimasi biaya.
- Berdasarkan verifikasi pemenuhan batasan time window, tidak ada hasil rute yang melampaui time window setiap turnya, sehingga setiap KBM yang diberangkatkan akan kembali ke PDC Tambun pada shift yang sama

5.2 Saran

Dalam makalah ini, penulis menerapkan varian baru dari PDP heterogen yang dicirikan oleh kapasitas KBM yang dapat dikonfigurasi. Solusi ditemukan dengan *tailored multi-start adaptive large neighborhood search algorithm* dan dibandingkan dengan solusi trayek sekunder yang saat ini digunakan. Rata-rata, MSALNS mencapai penghematan biaya dalam kisaran 30-40% dalam waktu 35-50 menit, waktu yang cukup singkat untuk digunakan setiap hari untuk membangun rute yang efisien yang memperhitungkan kepuasan.

Referensi

- [1] Boese, K. D., Kahng, A. B., & Muddu, S. (1994). A new adaptive multi-start technique for combinatorial global optimizations t. In *Operations Research Letters* (Vol. 16).
- [2] Chopra, S. (2012). *Supply Chain Management: Global Edition*. <http://www.pearsoned.co.uk/bookshop/detail.asp?item=100000000445856>
- [3] Chu, C.-W., & Hsu, H.-L. (2019). *A heuristic algorithm for multiple trip vehicle routing problems with time window constraint and outside carrier selection*. 18. <https://doi.org/10.1108/MABR-04-2019-0018>
- [4] Du, L., & He, R. (2012). Combining Nearest Neighbor Search with Tabu Search for Large-Scale Vehicle Routing Problem. *Physics Procedia*, 25, 1536–1546. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2012.03.273>
- [5] Laurent, S., & Charles, T. (2015). *Local Search for the Vehicle Routing Problem*.
- [6] Mukhsinin, A., Imran, A., & Susanty, S. (n.d.). *Penentuan Rute Distribusi CV. IFFA Menggunakan Metode Nearest Neighbour dan Local Search **.
- [7] Ninikas, G., Athanasopoulos, T., Zeimpekis, V., & Minis, I. (2014a). Integrated planning in hybrid courier operations. *International Journal of Logistics Management*, 25(3), 611–634. <https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2012-0097>
- [8] Ninikas, G., Athanasopoulos, T., Zeimpekis, V., & Minis, I. (2014b). Integrated planning in hybrid courier operations. *International Journal of Logistics Management*, 25(3), 611–634. <https://doi.org/10.1108/IJLM-09-2012-0097>
- [9] Ballou, Ronald H., 1992, *Business Logistics Management*, 4th ed., Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
- [10] Pop, P. C., Sitar, C. P., Zelina, I., Lupșe, V., Chira, C., Sitar, C. P., & Chira, C. (2011). Heuristic Algorithms for Solving the Generalized Vehicle Routing Problem. In *Communications & Control: Vol. VI* (Issue 1).
- [11] Qu, Y., & Bard, J. F. (2012). A GRASP with adaptive large neighborhood search for pickup and delivery problems with transshipment. *Computers and Operations Research*, 39(10), 2439–2456. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.11.016>
- [12] Qu, Y., & Bard, J. F. (2013). The heterogeneous pickup and delivery problem with configurable vehicle capacity. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 32, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2013.03.007>
- [13] Ropke, S., & Pisinger, D. (2006). An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. *Transportation Science*, 40(4), 455–472. <https://doi.org/10.1287/trsc.1050.0135>
- [14] Sanin Hutasoit, C., Susanty, S., & Imran, A. (n.d.). *Penentuan Rute Distribusi Es Balok Menggunakan Algoritma Nearest Neighbour dan Local Search (Studi Kasus di PT. X)**.
- [15] Shaw, P. (1997). *A new local search algorithm providing high quality solutions to vehicle routing problems*.
- [16] Tsiatsis, V., Karnouskos, S., Höller, J., Boyle, D., & Mulligan, C. (2019). Logistics. In *Internet of Things* (pp. 307–316). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814435-0.00030-4>