

Penjadwalan Kapal dengan Menggunakan *Insertion Heuristic*

Richard Wibisono¹, I Gede Agus Widyadana²

Abstract: PT. X is a company that deals in ship voyage at Surabaya, Jawa Timur. PT. X has problems to fix a schedule for their ships going to East Indonesia. This difficulty is caused by longer travel time compared to West Indonesia. There are policies that the company use that affects in modelling the system in Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW). First is the call time, call time defines how many times a month a port has to be visited. This call time splits the initial 15 ports in East Indonesia to 62 locations. Second is the minimal frequency between each visit of the same port. Third is the maximum limit of ports visited by a ship, which is five ports. Ship schedule is then searched using the Insertion Heuristic Method, which is modified according to the case's condition. Solution generated has a total travel time of 264 days, which is 11,11% more efficient compared to the schedule used by PT. X which has a total travel time of 297 days. Number of ships used is also reduced, which is reduced from 21 ships to 19 ships.

Keywords: Scheduling, Vehicle Routing Problem, Insertion Heuristic, VRPTW .

Pendahuluan

PT. X merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang usaha pelayaran di Surabaya, Jawa Timur. Perusahaan ini menerima pesanan dari relasi untuk melayarkan barangnya ke tujuan yang diminati dengan menyediakan kontainer dan kapal angkut. PT. X melayani pelayaran menuju berbagai lokasi di Indonesia.

Setiap perusahaan pelayaran selalu berusaha untuk memberikan pelayanan. Pelayanan yang diberikan oleh PT. X berupa open PO (*Purchase Order*), dimana PT. X pertama menentukan rute dari kapalnya terlebih dahulu, dan pelanggan tinggal memesan kapal tersebut. PT. X kini memiliki sejumlah 29 kantor di keseluruhan Indonesia. Kapal yang dimiliki oleh perusahaan ini berkisar diantara 70 buah kapal yang aktif. Kapal-kapal yang dimiliki tersebut memiliki spesifikasi yang berbeda-beda pula, seperti kecepatan, LOA (*Length of Overall*), minimum *draft*, dan kapasitas.

Berdasarkan hasil wawancara dengan pemilik PT. X, perusahaan kini memiliki masalah penjadwalan kapal untuk semua cabangnya, lebih spesifiknya yaitu untuk cabang di bagian Indonesia bagian timur. PT. X sudah memiliki penjadwalan kapal yang tetap untuk Indonesia bagian barat, dimana kapal apa yang dipakai beserta tujuan-tujuannya sudah ditetapkan.

Hal ini dikarenakan permintaan tiap pelabuhannya di bagian barat cukup besar untuk sekali pengunjungan saja untuk memenuhi kapasitas kapal. Penjadwalan untuk Indonesia bagian timur belum memiliki jadwal yang tetap, hal ini dikarenakan pelayaran untuk bagian timur lebih susah dibandingkan dengan pelayaran timur. Salah satu penyebabnya adalah jarak tempuh yang lebih jauh untuk mencapai Indonesia bagian timur bila dibandingkan dengan bagian barat. Penyebab yang lain yaitu permintaan di tiap pelabuhannya, dimana permintaan pada bagian timur kurang besar untuk memenuhi kapasitas kapal dalam sekali pengunjungan. Hal ini menyebabkan sebuah kapal untuk harus mengunjungi lebih dari satu pelabuhan dalam sekali jalannya untuk memenuhi kapasitasnya.

PT. X juga memiliki kebijakan-kebijakan yang mempengaruhi penjadwalannya. Salah satunya yaitu kebijakan yang mengatakan bahwa waktu antar pengunjungan di tiap cabangnya memiliki jeda minimal tertentu. Jeda ini mengakibatkan pengunjungan cabang tersebut berfungsi semacam *time windows*. Terdapat juga kebijakan dimana tiap cabang harus dikunjungi beberapa kali dalam sebulan.

Metode Penelitian

Vehicle Routing Problem dapat didefinisikan sebagai permasalahan untuk merancang rute yang optimal dari sebuah *depot* menuju ke berbagai tujuan yang tersebar secara geografis. VRP memegang peran penting di bidang distribusi fisik dan logistik VRPTW merupakan generalisasi dari CVRP dengan

^{1,2} Fakultas Teknologi Industri, Program Studi Teknik Industri, Universitas Kristen Petra. Jl. Siwalankerto 121-131, Surabaya 60236. Email: wibisonorichard94@gmail.com, gedeaw@gmail.com

menghubungkan waktu perjalanan (t) dan waktu pelayanan (s) dan ruang waktu dengan pelanggan. Kendaraan harus tiba pada pelanggan sebelum atau pada ruang waktu pelanggan tersebut, namun jika kendaraan tersebut tiba sebelum ruang waktu, maka kendaraan harus menunggu hingga ruang waktu tersebut buka.

Perbedaan VRPTW dengan CVRP adalah dimana VRPTW yang membatasi rute-rute yang diperbolehkan berdasarkan time windows dari setiap pelanggan, dimana waktu mulai pelayanan harus berada di dalam kurung waktu. CVRP membatasi rute-rute yang diperbolehkan berdasarkan kapasitas dari kendaraan yang dimiliki, dimana sebuah rute tidak boleh melebihi kapasitas kendaraan yang ada. Rute dari VRPTW harus memenuhi dua batasan ini (Ropke [1]):

$$a_v \leq S_v \leq b_v \quad (1)$$

$$S_{v+1} \geq S_v + s_v + t_{v,v+1} \quad (2)$$

Dimana:

a_v = Waktu pertama yang diperbolehkan untuk memulai pelayanan pada v

b_v = Waktu terakhir yang diperbolehkan untuk memulai pelayanan pada v

S_v = Waktu dimulainya pelayanan pada v

s_v = Waktu lama pelayanan pada v

Batasan 1 memastikan bahwa waktu kedatangan dan mulai pelayanan kendaraan pada pelanggan i harus diantara batas bawah dan batas atas dari ruang waktu pelanggan tersebut. Batasan 2 digunakan untuk menghitung waktu kedatangan dan mulai pelayanan dari kendaraan tersebut untuk pelanggan berikutnya sepanjang perjalanan.

Insertion Heuristic

Insertion Heuristic merupakan metode yang populer dalam masalah optimasi VRP. Metode ini telah terbukti dapat menyelesaikan berbagai masalah VRP dan penjadwalan kendaraan. Algoritma ini digunakan untuk mencari solusi awal yang layak dalam masalah tersebut. Algoritma ini dimulai dengan terlebih dahulu menentukan pelanggan pertama yang akan dimasukkan dalam rute, dan kemudian menyisipkan pelanggan lainnya (Priwarnela [2]).

Kriteria dalam pemilihan pelanggan pertama untuk dimasukkan ke dalam rute ada 2, yaitu berdasarkan jarak terjauh dari depot atau pelanggan yang harus segera dilayani terlebih dahulu (*time windows* yang paling dekat). Pelanggan lainnya kemudian akan disisipkan ke dalam rute tersebut. Hal ini dilakukan hingga semua pelanggan sudah disisipkan atau rute tersebut tidak lagi bisa disisipkan, dimana pada kasus setelahnya dibentuklah rute baru. Pembentukan rute baru tersebut juga berdasarkan dua kriteria pemilihan pelanggan pertama dari sisa-sisa pelanggan yang belum dirutekan.

Pemilihan pelanggan yang akan disisipkan kedalam rute juga memiliki kriteria pemilihan. Metode *insertion heuristic* menggunakan dua kriteria, yaitu $c_1(i, u, j)$ dan $c_2(i, u, j)$ pada setiap iterasi untuk menyisipkan pelanggan u diantara pelanggan i dan j yang bersebelahan pada rute. Pertama, dihitunglah $c_1(i, u, j)$ untuk setiap pelanggan yang belum dirutekan, dan dari setiap pelanggan tersebut masing-masing dicarilah posisi penyisipan yang feasible dan memiliki $c_1(i, u, j)$ yang paling kecil. Selanjutnya, pelanggan u yang terbaik untuk disisipkan ke dalam rute dipilih dengan menghitung $c_2(i, u, j)$ yang optimal. Kriteria untuk penghitungan $c_1(i, u, j)$ dan $c_2(i, u, j)$ sendiri ada tiga kriteria, yaitu (Solomon [3]):

a. $c_{11}(i, u, j) = d_{iu} + d_{uj} - \mu d_{ij}, \mu \geq 0;$

$$c_{12}(i, u, j) = b_{ju} - b_j$$

$$c_1(i, u, j) = a_1.c_{11}(i, u, j) + a_2.c_{12}(i, u, j), a_1 + a_2 = 1;$$

$$a_1 \geq 0, a_2 \geq 0$$

$$c_2(i, u, j) = \lambda d_{ou} - c_1(i, u, j), \lambda \geq 0$$

b_{ju} adalah waktu dimulainya pelayanan yang baru pada pelanggan j , ketika pelanggan u disisipkan kedalam rute. Tipe yang ini berusaha untuk memaksimalkan keuntungan yang didapat dari menyisipkan pelanggan kedalam rute daripada membentuk rute yang sudah jadi. Sebagai contoh apabila $\mu = a_1 = \lambda = 1$ dan $a_2 = 0$, maka $c_2(i, u, j)$ adalah jarak yang dapat disimpan dari menyisipkan pelanggan u diantara pelanggan i dan j . Posisi penyisipan yang paling baik adalah posisi yang meminimalkan kombinasi dari jarak dan waktu penyisipannya.

b. $c_1(i, u, j) = \beta_1.R_d(u) + \beta_2.R_t(u), \beta_1 + \beta_2 = 1, \beta_1 \geq 0, \beta_2 \geq 0$

$R_d(u)$ dan $R_t(u)$ adalah total jarak dan waktu dari rute ketika pelanggan u disisipkan. Tipe kedua heuristik ini bertujuan untuk memilih pelanggan yang biaya penyisipannya meminimalkan total jarak dan waktu.

c. $c_{13}(i, u, j) = l_u - b_u;$

$$c_1(i, u, j) = a_1.c_{11}(i, u, j) + a_2.c_{12}(i, u, j) + a_3.c_{13}(i, u, j)$$

$$a_1 + a_2 + a_3 = 1, a_1 \geq 0, a_2 \geq 0, a_3 \geq 0;$$

$$c_2(i, u, j) = c_1(i, u, j)$$

c_{11} dan c_{12} sama dengan yang ada pada tipe pertama, sedangkan c_{13} menunjukkan interval waktu antara dimulainya pelanggan u dan waktu terakhir kendaraan boleh memulai pelayanan. Tipe ketiga heuristik ini juga memperhitungkan aspek seberapa cepat harus dilayaninya seorang pelanggan.

Hasil dan Pembahasan

Data yang dikumpulkan adalah data-data yang berkaitan dengan kondisi di perusahaan. Data yang digunakan adalah jarak atau waktu tempuh dari suatu pelabuhan menuju suatu pelabuhan pada Indonesia bagian timur, waktu pelayanan setiap pelabuhan, dan kebijakan yang ada pada PT. X. Daftar

pelabuhan pada Indonesia bagian timur yang terdapat cabang PT. X ada 15 pelabuhan. Kelima belas pelabuhan ini adalah Makassar, Bau-Bau, Bitung, Ternate, Tual, Timika, Merauke, Sorong, Jayapura, Manokwari, Biak, Nabire, Serui, Fak-Fak, dan Kalimantan.

Data Waktu Tempuh antar Pelabuhan

Data ini adalah berapa lama waktu yang diperlukan untuk mencapai sebuah pelabuhan dari pelabuhan lainnya, dihitung dalam satuan hari. Contoh data waktu tempuh antar pelabuhan dapat dilihat pada Tabel 1. Data yang didapat merupakan hasil pembulatan keatas dari hasil wawancara terhadap kepala untuk bagian timur Indonesia pada PT. X. Angka yang terdapat pada tabel menunjukkan waktu yang diperlukan dalam satuan hari, sehingga sebagai contoh dari Surabaya menuju Makassar tertulis angka 2, sehingga diperlukan 2 hari perjalanan.

Data Waktu Pelayanan Pelabuhan

Data ini menunjukkan seberapa lama waktu pelayanan pada suatu pelabuhan dalam satuan hari. Data ini juga didapat dari hasil wawancara, dan sama halnya dengan data waktu tempuh, waktu yang didapat juga dibulatkan keatas. Contoh data waktu pelayanan dapat dilihat pada Tabel 2. Waktu pelayanan di kota Surabaya tidak dianggap karena hal ini tidak akan mempengaruhi waktu kedatangan di suatu pelabuhan Hal ini dikarenakan pada rute yang akan dibuat, semuanya baru akan berlabuh di Surabaya pada saat awal dan akhir rute.

Kebijakan PT. X

PT. X juga menerapkan beberapa kebijakan yang dapat mempengaruhi model VRPTW. Salah satunya adalah kebijakan jumlah pelabuhan yang dikunjungi tiap kapal. Setiap kapal diberi batasan untuk mengunjungi maksimal empat hingga lima pelabuhan dalam satu rute. Hal ini akan membatasi jumlah pelabuhan yang dapat dikunjungi setiap kapal dalam permodelan, dan pada kali ini diambil lima sebagai batas jumlah pelabuhannya. Terdapat juga jumlah *call* untuk setiap pelabuhan.

Tabel 1. Contoh data waktu tempuh

Dari/Ke	Surabaya	Makassar	Bau-Bau	Bitung
Surabaya	-	2	3	5
Makassar	2	-	1	4
Bau-Bau	3	1	-	3
Bitung	5	4	3	-

Tabel 2. Contoh data waktu pelayanan

Pelabuhan (Kota)	Waktu Pelayanan (Hari)
Makassar	1
Bau-Bau	3
Bitung	1
Ternate	3

Tabel 3. Contoh jumlah *call*

Pelabuhan (Kota)	Jumlah <i>call</i> setiap bulan
Makassar	15
Bau-Bau	4
Bitung	4
Ternate	4

Jumlah *call* ini menandakan setiap pelabuhan dalam satu bulan harus dikunjungi berapa kali, sebagai contoh Makassar memiliki jumlah *call* sebesar 15, maka setiap bulannya Makassar harus dikunjungi 15 kali. Contoh jumlah *call* untuk setiap pelabuhan dapat dilihat pada Tabel 3.

PT. X juga memberikan kebijakan dimana setiap kunjungan pelabuhan yang sama, diberi jeda 3-4 hari antar satu sama lainnya. Sebagai contoh, apabila sebuah kapal PT. X mengunjungi Bau-Bau pada tanggal 17, maka kunjungan berikutnya paling cepat 3 hari sesudahnya, yaitu sesudah tanggal 20.

Penjadwalan PT. X

Penjadwalan PT. X dibuat berdasarkan kebijakan yang telah dijelaskan sebelumnya. Pertama dimana adanya jumlah *call* time yang menandakan tiap pelabuhan pada Indonesia bagian Timur harus dikunjungi berapa kali pada setiap bulannya. Kedua yaitu jeda minimal 3-4 hari pada setiap kunjungan pelabuhan yang sama. Jeda ini berlaku untuk semua pelabuhan kecuali pada Makassar, dimana hal ini dikarenakan Makassar merupakan salah satu pelabuhan utama yang menghubungkan seluruh Indonesia. Ketiga dimana sebuah kapal tidak diperbolehkan untuk mengunjungi lebih dari empat atau lima pelabuhan sebelum kembali ke Surabaya. Kebijakan ketiga ini supaya sebuah kapal tidak akan memiliki deviasi yang terlalu besar untuk kembali ke Surabaya yang dikarenakan cuaca dan sebagainya.

Penjadwalan PT. X untuk bagian timur belum memiliki jadwal yang tetap, sehingga tiap bulannya rute yang digunakan hampir semuanya berbeda. Penjadwalan rute yang digunakan oleh PT. X pada bulan April 2016 memiliki total waktu tempuh sebesar 297 hari dan jumlah kapal yang digunakan sebanyak 21 kapal.

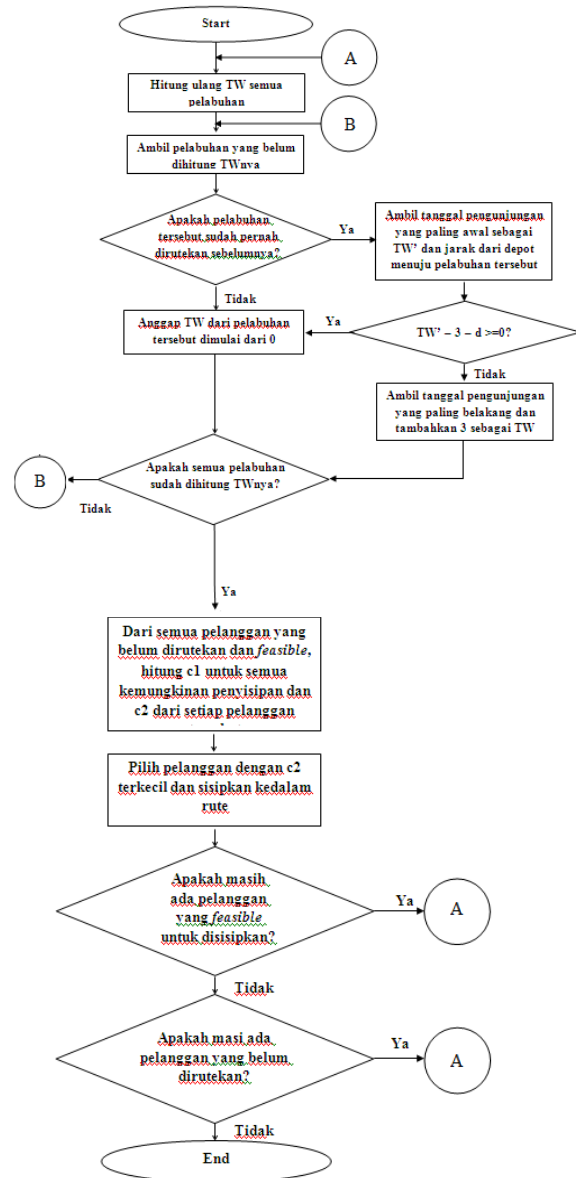
Permodelan Jumlah Call

Permasalahan jumlah *call* ini dimodelkan dengan memecah lokasi tersebut menjadi sejumlah *call*nya dan menambahkan kode angka dibelakangnya. Contoh untuk Makassar yang memiliki jumlah *call* 15 kali, dimana diberi kode huruf “MKS” dan dipecah menjadi 15 seperti MKS.01, MKS.02 hingga MKS.15. Setiap kode berdiri sendiri, dimana MKS.01 dan MKS.02 masing-masing menjadi satu lokasi. Melalui cara ini, jumlah lokasi yang harus dikunjungi pada awalnya 15 lokasi, sesudah dipecah masing-masing sesuai dengan jumlah *call*nya, menjadi 62 lokasi.

Constraint dari Model

Model ini juga memiliki beberapa tambahan kendala dibandingkan dengan model umum, yaitu:

- Waktu pengunjungan tiap lokasi yang sama berjeda minimal 3 hari
PT. X memiliki kebijakan jeda minimal 3 hari antar pengunjungan pelabuhan yang sama. Hal ini mengakibatkan tanggal pengunjungan tiap lokasi yang sama harus terpaut minimal 3 hari antara satu dengan yang lainnya. Permodelan ini memecah tiap pelabuhan menjadi kode-kode sesuai jumlah *call*nya masing-masing. Hal ini mengakibatkan tiap lokasi yang memiliki kode huruf yang sama, harus terpaut 3 hari waktu pengunjungannya antara satu dengan yang lain.
- Jangka waktu satu bulan
Permodelan ini memiliki jangka waktu untuk satu bulan. Hal ini berarti setiap rute tidak boleh melebihi satu bulan untuk kembali ke Surabaya. Satu bulan disini menggunakan 31 hari.
- Batasan maksimal lima lokasi yang dikunjungi
Selain kebijakan jeda minimal 3 hari, PT. X juga memiliki kebijakan dimana dalam satu rute maksimal hanya boleh mengunjungi empat hingga lima lokasi. Hal ini akan membatasi jumlah lokasi yang dapat dikunjungi oleh satu rute/kapal.
- Kode huruf yang sama tidak boleh bersebelahan
Permodelan ini memecah pelabuhan yang sama sebanyak jumlah *call*nya, sehingga suatu lokasi akan memiliki kode huruf yang sama, namun kode angka yang berbeda. Kode huruf yang sama diletakkan bersebelahan pada rute, hal itu akan menandakan bahwa kapal akan mengunjungi tempat yang sama tanpa melakukan pelayaran lagi.



Gambar 1. Flowchart *Insertion Heuristic* yang digunakan

Insertion Heuristic

Insertion Heuristic yang sebelumnya pemilihan pelabuhan pertama dalam rute baru berdasarkan *time windows* yang paling dekat atau berjarak paling jauh dari depot. *Insertion Heuristic* dalam penelitian ini memiliki perbedaan dimana mengecek terlebih dahulu apakah mungkin suatu pelabuhan dapat dipenuhi apabila sebuah kapal berangkat pada awal bulan. Pengecekan ini dilakukan dengan melihat apakah pelabuhan tersebut sudah pernah dikunjungi atau belum pada rute-rute yang ada. Jika belum, maka *time windows* dari pelabuhan

tersebut dianggap mulai dari 0. Jika sudah, maka dicek lagi apakah mungkin dipenuhi apabila kapal berangkat pada awal bulan. Pengecekan ini dilakukan dengan melihat pada tanggal berapakah pengunjungan sebelumnya dikurangi dengan jarak dari depot menuju pelabuhan tersebut dan dikurangi lagi dengan 3. Pengurangan lagi dengan 3 ini dimaksudkan karena adanya jeda minimal 3 hari antar pengunjungan. *Flowchart* dari keseluruhan proses *Insertion Heuristic* penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Penyisipan menggunakan sebagian dari rumus perhitungan *Insertion Heuristic* pertama yang telah dibuat oleh (Solomon [3]) dimana rumusnya yang terpakai adalah sebagai berikut:

$$c_{1j}(i, u, j) = b_{ju} - b_j$$

$$c_2(i, u, j) = \min[c_{1j}(i, u, j)]$$

$$b_{ju} = d_{iu} + s_u + d_{uj} + I_i$$

Dimana:

- b_{ju} = Tanggal dimulainya pelayanan yang baru di pelabuhan j ketika pelabuhan u disisipkan
 - b_j = Tanggal dimulainya pelayanan di pelabuhan j sebelum disisipi
 - j = Urutan pelabuhan yang sudah terdapat di rute tersebut ($j = 0, 1, \dots$)
 - d_{iu} = Waktu tempuh ke pelabuhan u dari pelabuhan i
 - s_u = Port Time pelabuhan u
 - I_i = Waktu kedatangan di pelabuhan i
- Sesuai yang tertulis di keterangan, j menandakan

urutan pelabuhan yang telah ada pada rute yang akan disisipi tersebut, dihitung mulai dari pelabuhan sesudah "SBY" yang paling awal.

Simpulan

Semua *constraint* yang telah ditentukan kemudian diterapkan kedalam permodelan dan kemudian penjadwalan baru dibuatlah dengan menggunakan *Insertion Heuristic* yang digunakan pada penelitian ini. Total waktu tempuh yang didapat dalam hari sebesar 264 hari, dan jumlah kapal yang digunakan sebanyak 19 kapal. Hasil yang didapat melalui *Insertion Heuristic* ini lebih efisien bila dibandingkan dengan jadwal yang digunakan oleh PT. X pada saat ini, dimana terdapat penurunan total waktu tempuh sebesar 33 hari atau 11,11% dan jumlah kapal yang digunakan berkurang sebanyak 2 kapal.

Daftar Pustaka

1. Ropke, S., *Heuristics and Exact Algorithms for Vehicle Routing Problem*, 2005, retrieved from <http://www.diku.dk/hjemmesider/ansatte/sropke/Papers/PHDThesis.pdf> on 21 January 2016
2. Priwarnela, R. *Aplikasi Algoritma Hibrida Dua Tahap pada Pickup and Delivery Vehicle Routing Problem With Time Windows*. Depok: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, 2012
3. Solomon, M. M. *Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Windows*. *Operations Research*, 1987, 254-265

