

**PENGEMBANGAN VARIAN MODEL VEHICLE ROUTE PROBLEM (VRP)
UNTUK PENENTUAN RUTE ANGKUTAN LAUT PENUMPANG
(Studi Kasus PT. PELNI (Persero))**

**VEHICLE ROUTE PROBLEM (VRP) VARIAN MODEL DEVELOPMENT
FOR DETERMINATION OF PASSENGER SEA TRANSPORT ROUTES
(Case Studi on PT. PELNI (Persero))**

Imbang Danandjojo¹⁾, B. Kombaitan²⁾, Idwan Santoso³⁾, dan Ibnu Syabri⁴⁾

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132

¹⁾[email: dj_imbang@yahoo.co.id](mailto:dj_imbang@yahoo.co.id)

²⁾[email: benk@pl.itb.ac.id](mailto:benk@pl.itb.ac.id)

³⁾[email: idwan2003@yahoo.com](mailto:idwan2003@yahoo.com)

⁴⁾[email: syabri@gmail.com](mailto:syabri@gmail.com)

Diterima: 3 Januari 2014, Revisi 1: 23 Januari 2014, Revisi 2: 6 Februari 2014, Disetujui: 17 Februari 2014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan varian model *VRP* untuk menyusun rute angkutan umum penumpang. Sebagai bahan pertimbangan adalah karakteristik rutenya tertutup yang berawal dan berakhir pada terminal atau pangkalan yang sama, karakteristik pelanggannya deterministik dengan volume permintaan layanan tetap dan dalam kurun waktu satu *round trip* tertentu, serta karakteristik kendaraan yang dioperasikan memiliki variasi kapasitas dan biaya operasi. Rute disusun untuk memperoleh efisiensi biaya operasional yang optimal, setiap jalur yang ada dalam jaringan pelayanan dilewati tepat satu kali dengan alasan pemberian frekuensi layanan yang sama untuk setiap *link* pergerakan penumpang. Penyusunan rute dilakukan melalui dua tahap, yaitu tahap inialisasi dengan pendekatan metoda *Nearest Addition* atau *Nearest Neighborhood Heuristic* dan tahap perbaikan dengan pendekatan metoda *Genetic Algorithm*. Model ini belum mempertimbangkan adanya pola rute dengan naik-turun penumpang yang dinamis, serta kecepatan dan waktu tempuh kendaraan yang bersifat stokastik, permintaan pergerakan penumpang setiap jalur yang bersifat stokastik, ataupun jumlah pelabuhan dalam jaringan pelayanan yang bersifat stokastik. Sehingga membuka peluang penelitian lebih lanjut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penyusunan ulang rute pelayanan kapal-kapal milik PELNI, total biaya operasional seluruh kapal dapat ditekan jauh lebih efisien hingga mencapai 64,38% dari total biaya aktual. Sedangkan dari sisi total jarak tempuh, dapat ditekan lebih efektif hingga mencapai 59,64% dari total jarak tempuh aktual.

Kata kunci: *VRP*, angkutan laut penumpang, efisiensi biaya, efektivitas jaringan

ABSTRACT

This study aims to develop a model variant of the VRP to prepare the public transport of passengers. Considering the characteristics of the closed route, beginning and ending at the terminal or the same port base. Characteristics of the customer is deterministic with a fixed volume and at a certain time. Characteristics of the vehicle, has a variety of capacities and operating costs. Constructing Route to obtain optimum operating profit, every edge in the network exactly once skipped services to provide the same service frequency for each link in the movement of passengers. The preparation of these two stages. The first stage is the initialization, which is preparing the initial feasible solution by Nearest Addition Methods. The last phase is the repair solution for the optimal solution by Genetic Algorithm Methods. This model has not considered the existence of these patterns with the rise and fall of a dynamic passenger, as well as both the vehicle speed and travel times that are stochastic, demand for the movement of passengers that are stochastic, or the number of ports in the network services that are stochastic. So further research opportunities. The results showed that the rearrangements of these services ships belonging to PELNI, total operating costs could be reduced throughout the ship is much more efficient to reach 64.38% of the total actual cost. In terms of total mileage, can be more effectively suppressed up to 59.64% of the total actual mileage.

Keywords: *VRP*, passengers sea transport, cost efficiency, effectiveness network

PENDAHULUAN

Penelitian ini membahas persoalan penentuan rute angkutan laut penumpang dari dua sudut pandang, yaitu dari sisi akademis dan dari sisi praktis. Dari sisi akademis, *VRP* pada umumnya digunakan dalam penyusunan rute untuk distribusi barang atau komoditas diterapkan untuk menyusun rute angkutan umum penumpang. Tulisan-tulisan atau penelitian-penelitian tentang penerapannya untuk angkutan penumpang masih jarang, apa lagi tentang penerapannya pada angkutan laut penumpang. Salah satu penelitian tentang penerapan *VRP* untuk penumpang, pernah dilakukan oleh Jayakrishnan (n.d).

Konsep dasar *VRP* merupakan upaya meminimalkan *total cost* perjalanan (dapat berupa biaya, jarak, waktu tempuh, atau sejenisnya), dalam melayani permintaan pelanggan dengan batasan-batasan permintaan pelanggan harus terpenuhi, rute pelayanan harus berawal dan berakhir pada titik (dinyatakan sebagai depot) yang sama (Novoa, 2006), serta adanya keterbatasan jumlah dan kapasitas alat angkut (Dell' Amico *et al.*, 2006). Dengan demikian, *VRP* sangat bergantung pada karakteristik rute yang dilayani, karakteristik depot, karakteristik pelanggan, karakteristik permintaan, dan karakteristik pelayanannya (Özyurt *et al.*, n.d, Woensel *et al.*, n.d, Chang *et al.*, 2003, dan Choi & Tcha, 2005). Pada kehidupan nyata, batasan-batasan model *VRP* tidak sederhana yang dirumuskan. Banyak hal-hal yang di luar dugaan bertentangan dengan sifat alamiah perilaku manusia dan kondisi alam.

Dari sisi praktis, angkutan laut penumpang di Indonesia memiliki karakteristik yang unik. Di samping penumpangnya merupakan penumpang yang tidak memiliki moda transportasi pilihan yang lain untuk melayani keperluan pergerakannya (*captitive*), juga armada kapal yang dioperasikan pada umumnya bersifat mandatori dari pemerintah dalam rangka menjaga kestabilan politik, ekonomi, sosial, maupun budaya, dalam bingkai Wawasan Nusantara. Salah satu perusahaan pelayaran yang melaksanakan mandatori pemerintah tersebut adalah PT. (Persero) PELNI.

Kapal-kapal PELNI pada tahun 2003 tercatat telah mengangkut penumpang antarpulau di seluruh tanah air sebanyak 5 juta orang lebih. Padahal, tahun 2002 masih sekitar 6 juta penumpang, tahun 2001 sekitar 7 juta, dan tahun 2000 bahkan sekitar 8 juta. Pada tahun 2008, *load factor* rata-rata hanya mencapai 50%. Apalagi, untuk jalur pelayaran yang

sejajar dengan jalur penerbangan, jumlah penumpangnya benar-benar turun drastis. Di sisi lain, armada yang dioperasikan terus bertambah. Pada tahun 2009, armada angkutan laut penumpang PELNI mencapai 30 kapal. Padahal, ketika mengangkut 8 juta penumpang lebih, armadanya hanya 24 unit pada tahun 1999.

Dari gambaran operasional armada kapal Angkutan Laut Penumpang Dalam Negeri yang dimiliki oleh PT. (Persero) PELNI pada tahun 2011, selain upaya meningkatkan pangsa muatan, yang salah satunya pernah dilakukan dengan cara menurunkan besaran tarif, upaya lain yang dapat dilakukan adalah menyusun ulang rute-rute pelayanan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi operasional kapalnya. Upaya menyusun ulang rute atau trayek kapal-kapal penumpang yang dioperasikannya ini diharapkan menghasilkan peningkatan utilitas *link* pelayanan dan penurunan biaya operasional.

TINJAUAN PUSTAKA

Menurut Fisher (1995, dalam Hendrawan, 2007) dan Kallehauge *et al.* (2001, dalam Tarigan, 2008), konsep dasar *VRP* merupakan upaya menyusun sejumlah rute yang meminimalkan *total cost* perjalanan (dapat berupa biaya, jarak, waktu tempuh, atau sejenisnya), untuk melayani pengiriman permintaan pelanggan (Özyurt *et al.*, n.d, dan Fisher, 1995, dalam Hendrawan, 2007, (Schrijver & Alexander, 2007, dalam Yusnar, 2008), dengan batasan-batasan permintaan setiap pelanggan harus terpenuhi, rute pelayanan harus berawal dan berakhir pada titik yang sama (dalam hal ini dinyatakan sebagai depot), serta adanya keterbatasan kapasitas alat angkut. Dengan demikian, *VRP* sangat bergantung pada karakteristik rute yang dilayani, karakteristik depot, karakteristik pelanggan, karakteristik permintaan, dan karakteristik pelayanannya (Woensel *et al.*, n.d, dan Kallehauge *et al.*, 2001, dalam Sutapa & Widyadana, 2003). *VRP* merupakan bentuk umum dari *TSP* dan membutuhkan *runtime* yang sangat lama untuk memperoleh solusi persoalannya. Oleh karena itu, masalah ini digolongkan ke dalam *NP-Hard* atau *Non-deterministic Polynomial Time Hard*, yaitu suatu kumpulan persoalan yang mungkin belum ditemukan metoda eksaknya untuk memperoleh nilai optimal dan dapat diselesaikan secara sempurna hanya dengan *runtime polynomial*. *VRP* sering didefinisikan pada pembatasan kapasitas dan panjang rute. Tujuan penyelesaian

VRP adalah mencari rute kendaraan optimal untuk memenuhi seluruh permintaan pelanggan (Shen, et al., 2006).

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini dikembangkan suatu penyusunan rute dan penempatan armada kapal angkutan laut penumpang yang efisiensi biayanya optimal dalam melayani kebutuhan pergerakan penumpang antar pulau pada pelabuhan singgah dalam jaringan pelayanan yang telah ditetapkan. Rute yang disusun merupakan rute tertutup, yaitu setiap rute berawal dan berakhir pada pelabuhan pangkalan yang sama. Mengingat kondisi geografis Indonesia yang sangat luas dan berbentuk kepulauan, maka rute-rute yang dibentuk memiliki beberapa pelabuhan pangkalan. Pelabuhan singgah yang dilayani tersebar di seluruh wilayah Indonesia dan jumlahnya tidak berubah selama proses pelayanannya. Sedangkan asumsi-asumsi yang digunakan, adalah sebagai berikut:

1. Permintaan perjalanan penumpang pada suatu jalur, diasumsikan tetap;
2. Analisis yang dilakukan hanya pada kondisi saat tahun 2011, sehingga tidak dilakukan upaya proyeksi;
3. Jumlah armada kapal yang dioperasikan dianggap tetap, sehingga optimalisasi jumlah dan kapasitas kapal, tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini;
4. Masalah penyusunan rute angkutan laut penumpang, adalah pemilihan rute untuk pasangan asal - tujuan dengan matriks perjalanan tetap;
5. Fungsi biaya *link* merupakan fungsi biaya operasi kapal di laut dan di pelabuhan;
6. Fungsi tujuan diformulasikan berdasarkan informasi tentang besaran jumlah permintaan perjalanan penumpang, tarif yang diterapkan, dan biaya operasi kapal yang melayaninya.

Dalam proses analisisnya, penelitian ini menggunakan pendekatan dua tahap, yaitu tahap inialisasi dan tahap perbaikan solusi. Pada tahap inialisasi atau tahap pencarian solusi awal layak, digunakan metoda *Nearest Addition* yang juga dinamakan metoda *Nearest Neighborhood Heuristic*. Metoda ini dimulai dengan menentukan banyaknya kendaraan yang tersedia di depot. Setiap iterasinya menambahkan simpul yang terdekat dengan titik akhir rute. Demikian seterusnya, hingga kapasitas kendaraan terpenuhi. Jika tidak terdapat posisi

yang layak untuk menambahkan simpul baru karena alasan kendala kapasitas atau *time windows* (Braysy & Gendreau, 2005, dalam Salaki, 2009), maka kendaraan tersebut harus kembali ke depot. Selanjutnya, kendaraan berikutnya dioperasikan dengan aturan yang sama seperti kendaraan pertama, sampai seluruh jalur yang ada dalam jaringan dilewati oleh kendaraan yang tersedia di depot.

Pada tahap perbaikan solusi, menggunakan pendekatan metoda *Genetic Algorithm (GA)*, dengan tahapan sebagai berikut:

1. *Mendefinisikan Individu*, yaitu kandidat solusi optimal global yang dihasilkan pada tahap inialisasi. Satu individu adalah satu solusi awal layak, dapat dikatakan sama dengan satu kromosom yang merupakan kumpulan gen;
2. *Mendefinisikan nilai fitness*, yaitu ukuran baik atau tidaknya suatu individu yang dihasilkan. Nilai *fitness* merepresentasikan baik atau tidaknya suatu individu atau solusi, dan digunakan sebagai pedoman dalam mencapai nilai solusi optimal global dalam GA. Dalam penelitian ini, yang diinginkan adalah kromosom dengan *fitness* yang lebih kecil akan mempunyai peluang lebih besar untuk terpilih kembali.

Oleh karena itu, digunakan pendekatan *inverse*, yaitu $Q[i] \propto \frac{1}{fitness [i]}$ (1)

Sedangkan untuk mencari probabilitas, digunakan formula $P[i] = \frac{Q[i]}{\sum Q[i]}$; (2)

3. *Menentukan proses seleksi* yang akan digunakan. Seleksi digunakan untuk memilih individu-individu mana yang akan dipilih untuk proses kawin silang (*crossover*) dan mutasi. Seleksi juga ditujukan untuk memperoleh calon induk yang baik, dengan asumsi bahwa induk yang baik akan menghasilkan keturunan yang baik pula. Proses awal seleksi adalah mencari nilai *fitness*. Seluruh individu ditempatkan dalam wadah seleksi dan menerima probabilitas reproduksi yang besarnya tergantung pada nilai obyektif *fitness* dirinya sendiri terhadap nilai obyektif seluruh individu dalam wadah tersebut. Dalam penelitian ini, digunakan teknik seleksi *Roulette Wheel Selection*;
4. *Menentukan proses persilangan (crossover) dan mutasi gen* yang akan diterapkan. Persilangan adalah operator GA yang melibatkan dua induk untuk membentuk kromosom baru. Operasi ini tidak selalu diterapkan kepada seluruh individu

yang ada, tetapi dipilih secara acak. Prinsip persilangan adalah melakukan operasi pertukaran secara aritmatika pada gen-gen yang bersesuaian dari dua induk, untuk menghasilkan individu baru. Proses persilangan diterapkan pada setiap individu dengan probabilitas persilangan tertentu. Dalam penelitian ini, kromosom yang akan dijadikan induk dipilih secara acak dan jumlah kromosom yang akan dikawin-silangkan ditentukan berdasarkan probabilitas persilangan atau *crossover probability (...c)* Sedangkan dalam proses mutasi, jumlah kromosom yang akan mengalami mutasi dalam suatu populasi ditentukan berdasarkan tingkat mutasi atau *mutation rate (...m)*. Proses mutasi dilakukan dengan cara menukar gen yang dipilih secara acak dengan gen sesudahnya. Jika gen tersebut berada di akhir kromosom, maka ditukar dengan gen yang berada di awal kromosom. Pertama, dihitung dulu total panjang gen yang ada pada satu populasi, dengan formula:

$$\text{Total Panjang Gen} = \text{Jml Gen dalam 1 Kromosom} \times \text{Jml Kromosom} \dots\dots\dots (3)$$

Untuk memilih posisi gen yang mengalami mutasi, dilakukan dengan membangkitkan bilangan acak antara satu sampai dengan total panjang gen;

5. *Menentukan kriteria penghentian iterasi.* Dalam penelitian ini, kriteria yang digunakan untuk menghentikan proses iterasi adalah jumlah generasi. Artinya bahwa jika jumlah generasi telah dicapai dalam proses iterasi, maka proses iterasi dihentikan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setiap kapal yang melayani suatu rute, pasti berangkat dan mengakhiri perjalanan pada satu simpul yang disebut Terminal atau Pelabuhan Pangkalan. Dalam menyusun suatu rute pelayaran kapal, pelabuhan singgah yang dimasukkan dalam rute dipilih berdasarkan biaya operasi terkecil yang akan dikeluarkan. Setiap penambahan satu pelabuhan singgah dalam rute, total durasinya harus mempertimbangkan juga penambahan durasi ke pelabuhan singgah terakhir, yaitu terminal atau pangkalan. Pola rute juga ditetapkan berbentuk seruling dan bukan berbentuk cincin. Pola rute seruling adalah pola rute yang menghubungkan serangkaian pelabuhan singgah sampai pada pelabuhan singgah terjauh kemudian kembali ke

pangkalan dengan cara menyusuri pelabuhan-pelabuhan singgah yang telah dilewatinya, sedangkan pola rute cincin adalah pola rute yang menghubungkan serangkaian pelabuhan singgah membentuk lingkaran dan berakhir pada pelabuhan pangkalan.

Pada proses GA penyusunan rute ini didasarkan pada batasan-batasan jumlah individu yang dibangkitkan dalam populasi satu generasi untuk tahap inisialisasi adalah sebanyak 300, dengan panjang kromosom sebanyak 150 gen atau alel. Operator-operator GA yang diterapkan antara lain probabilitas *crossover* sebesar 60% dan probabilitas mutasi sebesar 3%. Di sisi lain, proses seleksi menggunakan pendekatan *roulette wheel* dengan fungsi *fitness* menggunakan pendekatan rasio linier terhadap nilai populasi tertinggi. Dalam proses perhitungan GA ini digunakan konversi nilai fungsi tujuan dengan rumus (120.000 - total biaya pelayaran dan biaya di pelabuhan).

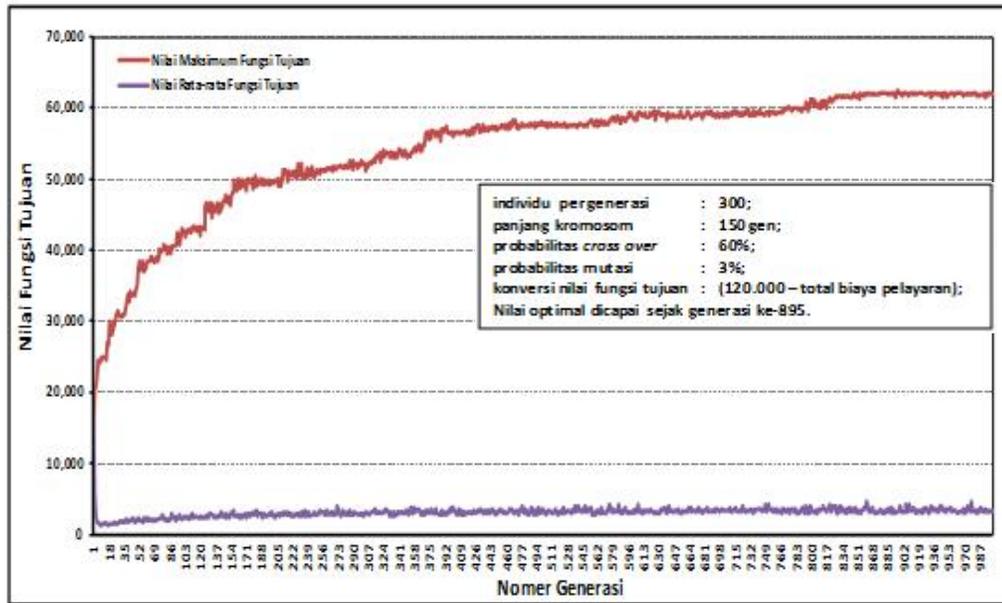
Hasil proses menunjukkan bahwa kapal-kapal yang dioperasikan untuk menghasilkan total biaya minimal, antara lain adalah KM. Awu, KM. Bukit Raya, KM. Bukit Siguntang, KM. Ciremai, KM. Dorolonda, KM. Kelimutu, KM. Kelud, KM. Labobar, KM. Lambelu, KM. Lawit, KM. Leuser, KM. Nggapulu, KM. Sangiang, KM. Sinabung, KM. Sirimau, KM. Tatamailau, KM. Tidar, KM. Tilongkabila, KM. Umsini, dan KM. Wilis. Biaya operasi tertinggi adalah kapal KM. Labobar, yaitu sebesar Rp 8.834.154.077,00, untuk melayari satu voyage trayek pelayanan. Sedangkan kapal yang membutuhkan biaya operasional terendah adalah kapal KM. Sangiang, yaitu sebesar Rp. 145.414.036,00.

Rute pelayanan terpanjang dicapai oleh kapal KM. Sinabung, yaitu sejauh 5.192,00 Mil laut, dengan susunan rute Tanjung Emas - Makassar - Bau-bau - Banggai - Bitung - Ternate - Sorong - Manokwari - Biak - Serui - Jayapura - Serui - Biak - Manokwari - Sorong - Ternate - Bitung - Banggai - Bau-bau - Makassar - Tanjung Emas. Sedangkan rute pelayanan terpendek dicapai oleh kapal KM. Leuser, yaitu sejauh 394,00 Mil, dengan susunan rute Tanjung Priok - Tanjung Pandan - Tanjung Priok.

Dari hasil analisis dan perhitungan model, kinerja biaya operasional yang secara aktual sebesar Rp. 96.368.740.198,00, hasil perhitungan model menunjukkan nilai total sebesar Rp. 62.040.837.198,00. Sehingga, dengan adanya penyusunan ulang rute, biaya dapat ditekan jauh lebih efisien hingga mencapai 64,38% dari total biaya

operasi aktual. Sedangkan kinerja jaringan yang direpresentasikan dengan total jarak tempuh secara aktual sebesar 78.688,00 Mil, hasil perhitungan model menunjukkan nilai total sebesar 46.927,00 Mil.

Sehingga, dengan adanya penyusunan ulang rute, waktu tempuh total dapat ditekan jauh lebih efektif hingga mencapai 59,64% dari total jarak tempuh aktual.



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 1. Perubahan Nilai Maksimum dan Nilai Rata-rata Fungsi Tujuan Pada Setiap Generasi Iterasi Data.

Secara keseluruhan, total biaya hasil perhitungan model menunjukkan sebesar 64,38% dari total biaya aktual, sedangkan total jarak tempuh hasil perhitungan model menunjukkan sebesar 59,64% dari total jarak tempuh aktual. Hal ini memberi gambaran bahwa dari sisi biaya operasional kapal, hasil model menunjukkan jauh lebih efisien dibanding biaya operasional aktual. Demikian juga rute trayek yang dihasilkan model juga jauh lebih efektif dibanding rute aktual, tabel 1.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa varian model *VRP* dapat dikembangkan tidak hanya untuk mencari rute pelayanan pendistribusian suatu komoditas kepada para pelanggan yang tersebar secara geografis dan menghasilkan total biaya terkecil, tetapi juga dapat dikembangkan untuk menyusun dan menentukan rute angkutan umum yang melayani permintaan pergerakan pelanggannya dengan menghasilkan total pendapatan operasional optimal. Berbeda dengan varian model *VRP* yang sudah ada, pengembangan varian model *VRP* dalam penelitian ini ditujukan untuk menyusun rute angkutan umum yang melayani permintaan

pergerakan penumpang pada setiap jalur dalam jaringan pelayanannya. Rute yang disusun berawal dan berakhir pada suatu terminal atau pangkalan tertentu dan menghasilkan pendapatan operasional optimal. Dengan alasan pemberian frekuensi pelayanan yang sama, maka setiap jalur akan dilewati tepat satu kali.

Dari penelitian yang dilakukan, telah dihasilkan kontribusi dalam menambah khasanah baru untuk pemahaman varian model *VRP* yang dapat dikembangkan tidak hanya untuk mencari rute pelayanan pendistribusian suatu komoditas kepada para pelanggan yang tersebar secara geografis dan menghasilkan total biaya terkecil, tetapi juga dapat dikembangkan untuk menyusun dan menentukan rute angkutan umum yang melayani permintaan pergerakan pelanggannya dengan menghasilkan total pendapatan operasional optimal. Namun, perlu elaborasi lanjutan untuk memperoleh susunan rute yang optimal dengan menerapkan pola penumpang ikutan, yaitu beberapa jalur tidak dilayani secara langsung tetapi mengikuti rute perjalanan yang menyinggahi beberapa pelabuhan antara.

Tabel 1. Rute Terbaik dan Kapal Yang Dioperasikan

| No | Nama Kapal | Rute atau Trayek | Jarak Tempuh (Mil) | Biaya Operasi (Rp) |
|----|---------------------|---|--------------------|--------------------|
| 1 | KM. Awu | Tanjung Perak - Bena - Tanjung Perak; | 456.00 | 347,462,298.90 |
| 2 | KM. Bukit Raya | Tanjung Priok - Blinky - Tanjung Priok; | 650.00 | 509,740,767.69 |
| 3 | KM. Bukit Siguntang | Bau-bau - Makassar - Balikpapan - Tarakan - Balikpapan - Bau-bau; | 1,181.00 | 1,619,388,459.19 |
| 4 | KM. Ciremai | Tanjung Priok - Tanjung Perak - Tanjung Priok; | 790.00 | 1,043,000,633.31 |
| 5 | KM. Dorolonda | Tanjung Perak - Pantoloan - Bitung - Pantoloan - Tanjung Perak; | 2,298.00 | 7,725,453,094.00 |
| 6 | KM. Kelimutu | Tanjung Perak - Makassar - Bau-bau - Ambon - Banda - Tual - Banda - Ambon - Bau-bau - Makassar - Tanjung Perak; | 3,240.00 | 2,717,070,021.87 |
| 7 | KM. Kelud | Tanjung Priok - Batam - Tanjung Balai Karimun - Belawan - Tanjung Balai Karimun - Batam - Tanjung Priok; | 1,820.00 | 3,221,129,552.63 |
| 8 | KM. Labobar | Tanjung Priok - Makassar - Sorong - Manokwari - Nabire - Jayapura - Nabire - Manokwari - Sorong - Makassar - Tanjung Priok; | 5,012.00 | 8,834,154,077.40 |
| 9 | KM. Lambelu | Kijang - Ambon - Namlea - Ternate - Namlea - Ambon - Kijang; | 4,668.00 | 5,805,552,436.15 |
| 10 | KM. Lawit | Tanjung Emas - Pontianak - Tanjung Priok - Pontianak - Tanjung Emas; | 3,976.00 | 2,547,641,644.62 |
| 11 | KM. Leuser | Tanjung Priok - Tanjung Pandan - Tanjung Priok; | 394.00 | 561,060,234.92 |
| 12 | KM. Nggapulu | Makassar - Bau-bau - Ambon - Fak-fak - Manokwari - Wasior - Nabire - Serui - Biak - Jayapura - Biak - Serui - Nabire - Wasior - Manokwari - Fak-fak - Ambon - Bau-bau - Makassar; | 4,312.00 | 7,581,783,541.96 |
| 13 | KM. Sangiang | Bitung - Tahuna - Bitung; | 290.00 | 145,414,036.43 |
| 14 | KM. Sinabung | Tanjung Emas - Makassar - Bau-bau - Banggai - Bitung - Ternate - Sorong - Manokwari - Biak - Serui - Jayapura - Serui - Biak - Manokwari - Sorong - Ternate - Bitung - Banggai - Bau-bau - Makassar - Tanjung Emas; | 5,192.00 | 8,368,056,514.64 |
| 15 | KM. Sirimau | Kijang - Tanjung Priok - Tanjung Emas - Tanjung Priok - Kijang; | 1,538.00 | 1,105,220,385.33 |
| 16 | KM. Tatamailau | Bitung - Sorong - Fak-fak - Kaimana - Tual - Kaimana - Fak-fak - Sorong - Bitung; | 1,926.00 | 1,506,313,898.89 |
| 17 | KM. Tidar | Tanjung Perak - Makassar - Pare-pare - Balikpapan - Pare-pare - Makassar - Tanjung Perak; | 1,672.00 | 2,296,634,368.13 |
| 18 | KM. Tilongkabila | Bitung - Kendari - Makassar - Kendari - Bitung; | 1,586.00 | 1,226,684,119.66 |
| 19 | KM. Umsini | Tanjung Perak - Balikpapan - Pantoloan - Toli-toli - Tarakan - Nunukan - Tarakan - Toli-toli - Pantoloan - Balikpapan - Tanjung Perak; | 5,132.00 | 4,473,458,694.40 |
| 20 | KM. Wilis | Makassar - Waingapu - Makassar. | 794.00 | 405,618,418.32 |

Sumber: Hasil Analisis

KESIMPULAN

Dari telaah terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Varian model *VRP* dapat dikembangkan untuk menyusun dan menentukan rute angkutan umum yang melayani permintaan pergerakan pelanggan dengan total pendapatan operasional optimal, namun perlu elaborasi lanjutan untuk memperoleh susunan rute yang optimal dengan menerapkan pola penumpang

ikut, yaitu beberapa jalur tidak dilayani secara langsung tetapi mengikuti rute perjalanan yang menyinggahi beberapa pelabuhan antara. Rute terbaik diperoleh dari model berdasarkan pelabuhan pangkalan, adalah sebagai berikut:

Pelabuhan Pangkalan Kijang:

KM. Lambelu (Kijang-Ambon-Namlea-Ternate-Namlea-Ambon-Kijang), **KM. Sirimau** (Kijang-Tanjung Priok-Tanjung Emas-Tanjung Priok-Kijang.

Pelabuhan Pangkalan Tanjung Priok:

KM. Bukit Raya (Tanjung Priok - Blinyu - Tanjung Priok), **KM. Ciremai** (Tanjung Priok - Tanjung Perak - Tanjung Priok), **KM. Labobar** (Tanjung Priok - Makassar - Sorong - Manokwari - Nabire - Jayapura - Nabire - Manokwari - Sorong - Makassar - Tanjung Priok), **KM. Kelud** (Tanjung Priok - Batam - Tanjung Balai Karimun - Belawan - Tanjung Balai Karimun - Batam - Tanjung Priok), **KM. Leuser** (Tanjung Priok - Tanjung Pandan - Tanjung Priok).

Pelabuhan Pangkalan Tanjung Perak:

Km. Awu (Tanjung Perak - Benoa - Tanjung Perak), **KM. Dorolonda** (Tanjung Perak - Pantoloan - Bitung - Pantoloan - Tanjung Perak), **KM. Kelimutu** (Tanjung Perak - Makassar - Bau Bau - Ambon - Banda - Tual - Banda - Ambon - Bau bau - Makassar - Tanjung Perak), **KM. Tidar** (Tanjung Perak - Makassar - Pare pare - Balikpapan - Pare pare - Makassar - Tanjung Perak), **KM. Umsini** (Tanjung Perak - Balikpapan - Pantoloan - Toli toli - Tarakan - Nunukan - Tarakan - Toli toli - Pantoloan - Balikpapan - Tanjung Perak)

Pelabuhan Pangkalan Tanjung Emas:

KM. Sinabung (Tanjung Emas - Makassar - Bau-bau - Banggai - Bitung - Ternate - Sorong - Manokwari - Biak - Serui - Jayapura - Serui - Biak - Manokwari - Sorong - Ternate - Bitung - Banggai - Bau-bau - Makassar - Tanjung Emas), **KM. Lawit** (Tanjung Emas - Pontianak - Tanjung Priok - Pontianak - Tanjung Emas)

Pelabuhan Pangkalan Makassar:

KM. Nggapulu (Makassar - Bau-bau - Ambon - Fak-fak - Manokwari - Wasior - Nabire - Serui - Biak - Jayapura - Biak - Serui - Nabire - Wasior - Manokwari - Fak-fak - Ambon - Bau-bau - Makassar), **KM. Wilis** (Makassar - Waingapu - Makassar)

Pelabuhan Pangkalan Bau-bau:

KM. Bukit Siguntang (Bau-bau - Makassar - Balikpapan - Tarakan - Balikpapan - Bau-bau)

Pelabuhan Pangkalan Bitung:

KM. Sangiang (Bitung - Tahuna - Bitung), **KM. Tatamailau** (Bitung - Sorong - Fak-fak - Kaimana - Tual - Kaimana - Fak-fak - Sorong - Bitung), **KM. Tilongkabila** (Bitung - Kendari - Makassar - Kendari - Bitung).

Kinerja biaya operasional secara aktual sebesar Rp. 96.368.740.198,00 dan hasil perhitungan model menunjukkan nilai total sebesar Rp.

62.040.837.198,00, sehingga biaya dapat ditekan jauh lebih efisien mencapai 64,38% dari total biaya operasi aktual. Kinerja jaringan yang direpresentasikan dengan total jarak tempuh secara aktual sebesar 78.688,00 Mil dan hasil perhitungan model menunjukkan nilai total sebesar 46.927,00 Mil, sehingga waktu tempuh total dapat ditekan jauh lebih efektif mencapai 59,64% dari total jarak tempuh aktual.

SARAN

Beberapa saran untuk penelitian lanjutan adalah bahwa penyusunan rute dalam penelitian pengembangan varian model *VRP* ini tidak mempertimbangkan pola penumpang dinamis, yaitu akumulasi penumpang pada suatu jalur dengan tujuan yang berbeda-beda, sehingga terbuka peluang penelitian untuk menyusun rute dengan pola penumpang dinamis. Penelitian ini mengasumsikan bahwa kendaraan yang dioperasikan mempunyai kecepatan dan waktu tempuh yang sama dari suatu pelabuhan ke pelabuhan lain, sehingga terbuka peluang penelitian untuk pengoperasian kendaraan yang memiliki kecepatan dan waktu tempuh berbeda-beda, atau kecepatan kendaraan dan waktu tempuh dari suatu pelabuhan ke pelabuhan lain bersifat stokastik akibat pengaruh geografis, cuaca, kepadatan lalu lintas pada jalur yang dilalui, menunggu kesiapan dermaga, dan lain sebagainya. Penelitian ini juga mengasumsikan bahwa permintaan pergerakan penumpang pada suatu jalur bersifat deterministik, sehingga terbuka peluang penelitian untuk permintaan pergerakan penumpang yang bersifat stokastik. Di samping itu, jumlah pelabuhan tujuan dalam jaringan pelayanan penelitian ini bersifat deterministik, sehingga terbuka peluang penelitian untuk jumlah pelabuhan tujuan dalam jaringan pelayanan yang bersifat stokastik. Di sisi lain, penelitian ini juga mengasumsikan bahwa jumlah terminal atau pelabuhan pangkalan dalam jaringan pelayanannya tidak tunggal (*multi depot*), sehingga terbuka peluang penelitian untuk jumlah terminal atau pelabuhan pangkalan yang lebih dari satu tetapi terbuka (*Open VRP*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada para pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk mengarahkan, dan memberi saran serta masukan untuk kesempurnaan tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Chang, Mei-Shiang, Hsueh, Che-Fu, & Chen, Shyang-Ruey, 2003. *Real-Time Vehicle Routing Problem with Time Windows And Simultaneous Delivery/Pickup Demands*, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.5, October;
- Choi, Eunjeong, & Tcha, Dong-Wan, 2005. *A column generation approach to the heterogeneous fleet vehicle routing problem*, Elsevier Ltd. All rights reserved, Available online at www.sciencedirect.com;
- Dell'Amico, Mauro, Monaci, Michele, Pagani, Corrado, & Vego, Daniele, 2006. *Heuristic Approaches for The Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows*, Transportation Science, Vol. 41, No. 4, November 2007, pp. 516-526, INFORMS, <http://transci.journal.informs.org/content/41/4/516.full.pdf>, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 06:35 PM;
- Hendrawan, Bambang Eko, 2007. *Implementasi Algoritma Paralel Genetic Algorithm untuk Penyelesaian Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem*, http://hendrawan.web.id/public/buku_TA.PDF, diunduh tanggal 7 Juli 2010 pukul 01.00 PM;
- Jayakrishnan, R., (n.d), *Mass Transport Vehicle Routing Problem (MTVRP) and The Associated Network Design Problem (MTNDP)*, Department of Civil Engineering and Institute of Transportation Studies, University of California, Irvine, CA. 92967, USA, <http://www.uctc.net/papers/748.pdf>, diunduh tanggal 04 Maret 2014, pukul 07:37PM;
- Novoa, Clara, 2006. *A Set-Partitioning-Based Model for the Stochastic Vehicle Routing Problem*, Department of Engineering and Technology, Texas State University, 601 University Drive, San Marcos, TX 78666, <http://homepages.cae.wisc.edu/~linderot/papers/Novoa-Et-Al-06-TR.pdf>, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 07:25 PM;
- Özyurt, Zeynep, Aksen, Deniz, Aras, & Necati, (n.d), *Open Vehicle Routing Problem with Time Deadlines: Solution Methods and an Application*, <http://home.ku.edu.tr/~daksen/Ozyurt-Aksen-Aras-GOR2005-OVRPTD.pdf>, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 07:05 PM;
- Salaki, Deiby Tineke, 2009. *Penyelesaian Vehicle Routing Problem Menggunakan Beberapa Metoda Heuristik Konstruktif*, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Bogor;
- Shen, Zhihong, Ord'onez, Fernando, & Dessouky, Maged, 2006. *The Minimum Unmet Demand Stochastic Vehicle Routing Problem*, http://www.bcf.usc.edu/~fordon/docs/SVRP_Nov01_2006.pdf, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 08:55 PM;
- Sutapa, I Nyoman, & Widyadana, I Gede Agus, 2003. *Studi tentang Travelling Salesman dan Vehicle Routing Problem dengan Time Windows*, Jurnal Teknik Industri Vol. 5, No. 2, Desember 2003, p: 81-89, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Kristen Petra, <http://puslit2.petra.ac.id/journals/index.php/ind/article/viewfile/16024/16016>, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 08:10 PM;
- Tarigan, Darmasius, 2008. *Pemodelan Vehicle Routing Problem Terbuka dengan Keterbatasan Waktu*, *USU e-Repository*, <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/6052/1/067021013.PDF>, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 10.00 PM;
- Woensel, T. Van, Kerbache, L., Peremans, H., & Vandaele, N., (n.d), *A Vehicle Routing Problem With Stochastic Travel Times*, <http://www.icsd.aegean.gr/aic2003/papers/vanwoensel-kerbache.pdf>, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 08.22 PM;
- Yusnar, 2008. *Linearisasi Kompak untuk Menyelesaikan Masalah Rute Kendaraan*, *USU e-Repository*, http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/6045/1/tesis_yusniar_S2_Math.PDF, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 07.40 PM.