

Upaya Peningkatan Kinerja Operasional Kapal KM. Kerinci dan KM. Tidar
Improving Operational Performance of MV. Kerinci and MV. Tidar

Imbang Danandjojo

Puslitbang Perhubungan Laut – Balitbang Perhubungan

Jln. Medan Merdeka Timur No. 5 Jakarta Pusat

e-mail: dj_imbang@yahoo.co.id

Naskah diterima 02 januari 2014, direvisi 10 Pebruari 2014, disetujui 24 Pebruari 2014

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengembangkan varian model VRP untuk menyusun rute angkutan laut penumpang dengan keuntungan operasional optimal dan setiap jalur jaringan pelayanan dilewati tepat satu kali untuk memberi frekuensi layanan yang sama. Pengembangan ini dapat diselesaikan jika jaringannya berupa Graph Euler dan alokasi durasi satu round trip yang memadai. Hasil modifikasi restrukturisasi rute KM. Kerinci adalah Tanjung Priok – Balikpapan – Tarakan – Nunukan – Pantoloan – Pare-pare – Makassar – Bau-bau – Makassar – Pare-pare – Pantoloan – Nunukan – Tarakan – Balikpapan – Tanjung Perak – Tanjung Priok, sedangkan rute KM. Tidar adalah Tanjung Priok – Tanjung Perak – Makassar – Tanjung Perak – Pare-pare – Tanjung Perak – Pantoloan – Tanjung Perak – Bau-bau – Tanjung Priok. Jika KM. Tidar dioperasikan pada rute hasil modifikasi, biayanya meningkat 32,71% dari biaya aktual KM. Kerinci, sedangkan KM. Kerinci yang dioperasikan pada rute KM. Tidar meningkat 5,22% dari biaya aktual KM. Tidar. Utilitas jaringan KM. Kerinci meningkat 49,97% dari rute aktualnya, sedangkan utilisasi jaringan KM. Tidar turun 4,54% dari rute aktualnya. LF KM. Tidar meningkat 345,41% dari LF KM. Kerinci aktual, sedangkan LF KM. Kerinci turun 82,05% dari LF KM. Tidar aktual. Model ini belum mempertimbangkan pola rute penumpang dinamis, jumlah pangkalan tidak tunggal, dengan kecepatan dan waktu tempuh kapal, penumpang, dan jumlah pelabuhan dalam jaringan yang bersifat stokastik, sehingga membuka peluang penelitian lanjut.

Kata Kunci: VRP, Angkutan Laut Penumpang, Euler

ABSTRACT

This study aims to develop a model variant of the VRP to arrange passengers sea transportation with the optimal operational advantages and each service network paths crossed exactly once to provide the same service frequency. This development can be resolved if the network is a Euler Graph's and allocation duration of one round trip adequate. Modified restructuring KM. Kerinci is Tanjung Priok – Balikpapan – Tarakan – Nunukan – Pantoloan – Pare-pare – Makassar – Bau-bau – Makassar – Pare-pare – Pantoloan – Nunukan – Tarakan – Balikpapan – Tanjung Perak – Tanjung Priok, while the KM. Tidar is Tanjung Priok – Tanjung Perak – Makassar – Tanjung Perak – Pare-pare – Tanjung Perak – Pantoloan – Tanjung Perak – Bau-bau – Tanjung Priok. If KM. Tidar operated on a modified route, the cost is increased by 32.71% of the actual cost of KM. Kerinci, while KM. Kerinci operated on route KM. Tidar risen 5.22% of the actual cost of KM. Tidar. Network utility KM. Kerinci increased by 49.97% of the actual route, while the network utilization KM. Tidar down 4.54% from the actual route. LF KM. Tidar increased 345.41% from LF KM. Kerinci actual, while LF KM. Kerinci down 82.05% from LF KM. Tidar actual. These models have not considered the dynamic pattern of passenger service, the number of bases is not a single, with the speed and travel time of ships, the number of passengers, and the number of ports in the network that are stochastic, thus opening up opportunities for additional research.

Key words: VRP, Passengers Sea Transport, Euler

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 [13].

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 [19], serta adanya keterbatasan jumlah dan kapasitas alat angkut [5]. Dengan demikian, VRP sangat bergantung pada karakteristik rute yang dilayani, karakteristik depot, karakteristik pelanggan, karakteristik permintaan, dan karakteristik pelayanannya [1], [3], [20], dan [28]. Pada kehidupan nyata, batasan-batasan model VRP tidak sesederhana 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 (*captive*), juga armada kapal yang dioperasikan pada umumnya merupakan 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. Berdasarkan data operasional tahun 2011, diperoleh gambaran bahwa trayek kapal KM. Kerinci dan KM. Tidar berhimpit pada pelabuhan pangkalan, yaitu Pelabuhan Tanjung Priok, serta beberapa pelabuhan singgahnya, seperti Pelabuhan Tanjung Perak, Makassar, Balikpapan, Pare-pare, dan Pelabuhan Pantoloan. Rute pada trayek kapal KM. Kerinci berbelok ke Pelabuhan Bau-bau, sedangkan rute pada kapal KM. Tidar berbelok ke Pelabuhan Tarakan dan Nunukan.

Dari sisi tingkat pemanfaatan atau utilitas jaringan trayek pelayanan Angkutan Laut Penumpang Dalam Negeri PT. (Persero) PELNI oleh pengguna jasanya, rata-rata hanya mencapai 65,92%. Hal ini, berarti bahwa 34,08% link pelayanan yang diberikan tidak membawa muatan penumpang. Utilitas jaringan pada trayek kapal KM. Kerinci hanya mencapai 38,10%, sedangkan pada kapal KM. Tidar mencapai 78,57%. Di sisi lain, biaya operasi kapal untuk melayani setiap trayek, rata-rata mencapai lebih dari 4 Milyar Rupiah per voyage. Tercatat, KM. Kerinci mencapai Rp. 4.591.437,16 tiap voyage, sedangkan kapal KM. Tidar mencapai Rp. 6.548.184.256,12 tiap voyage. Dengan melakukan relokasi kapal terhadap trayek-trayek yang dilayani pada tahun 2011, biaya operasi kapal dapat diturunkan rata-rata sampai 31,26%. Hal ini akan semakin menurunkan biaya operasi kapalnya, jika secara bersamaan dilakukan penyusunan ulang rute atau trayek pelayanannya.

Ditinjau dari pengoperasian kapal pengganti yang dapat menurunkan biaya operasi suatu kapal pelaksana mandatori melayani suatu trayek tertentu, kapal KM. Kerinci menduduki peringkat ke-dua dengan mampu menurunkan biaya operasi untuk melayani trayeknya hingga 50,32% jika kapal lain dioperasikan pada trayek tersebut. Sedangkan KM. Tidar dapat turun sampai dengan 41,22%, jika kapal lain dioperasikan pada trayek yang dilayaninya. Dari sisi besarnya *Load Factor* (LF) yang dihasilkan oleh kedua kapal tersebut, menunjukkan bahwa KM. Kerinci hanya mencapai 31,60% dan KM. Tidar mencapai 62,91%. Hasil pengoperasian kapal KM. Kerinci pada tahun 2011, diperoleh gambaran bahwa jumlah penumpang di atas kapal pada Pelabuhan Bau-bau, Makassar, dan Pelabuhan Balikpapan, sangat padat (dengan LF hampir mendekati 100%), bahkan pada Pelabuhan Balikpapan sudah mencapai 110,40% atau melebihi kapasitas angkut kapal.

Sedangkan pada Pelabuhan Tanjung Priok, Tanjung Perak, Balikpapan ke arah Pantoloan, Pare-pare ke arah Pantoloan atau sebaliknya (ke arah Balikpapan), Bau-bau ke arah Tanjung Priok, dan Pelabuhan Tanjung Perak ke arah Tanjung Priok,

hampir dapat dikatakan tidak ada penumpangnya. Secara rata-rata, LF per voyage yang dicapai oleh kapal KM. Kerinci hanya 31,60%. Pada tahun yang sama, diperoleh gambaran pengoperasian kapal KM. Tidar bahwa jumlah penumpang di atas kapal pada Pelabuhan Pare-pare, Balikpapan ke arah Pantoloan, dan Pelabuhan Balikpapan ke arah Tanjung Priok, sangat padat (dengan LF melebihi 100%), bahkan pada Pelabuhan Pare-pare sudah mencapai 143,67% atau jauh melebihi batas kapasitas angkut kapal.

Sedangkan pada Pelabuhan Tanjung Priok dan Tanjung Perak ke arah Tanjung Priok, dapat dikatakan tidak ada penumpangnya. LF rendah terjadi pada Pelabuhan Tarakan dan Pelabuhan Pantoloan, yaitu hanya 26,75% dan 23,51%. Secara rata-rata, LF per voyage yang dicapai oleh kapal KM. Tidar jauh lebih baik daripada capaian KM. Kerinci, yaitu sebesar 62,91%. Berdasarkan capaian LF pada pelabuhan-pelabuhan singgah KM. Kerinci dan KM. Tidar yang rute trayeknya relatif berhimpit, memberi gambaran bahwa terjadi penyusunan rute yang kurang tepat, sehingga berakibat terjadi LF melebihi batas kapasitas kapal yang dioperasikan (di atas 100%) pada pelabuhan-pelabuhan tertentu dan di sisi lain terjadi sebaliknya hingga LF mencapai angka 0%. Dari gambaran di atas, dapat disimpulkan bahwa persoalan penyusunan ulang rute pelayanan Angkutan Laut Penumpang Dalam Negeri PT. (Persero) PELNI, khususnya KM. Kerinci dan KM. Tidar, menjadi sangat diperlukan.

METODE

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, 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. VRP merupakan bentuk umum dari TSP dan membutuhkan runtime yang sangat lama. 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. 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 ditetapkannya. 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 pelabuhan pangkalan lebih dari satu. Pelabuhan singgah yang dilayani tersebar di seluruh wilayah Indonesia dan tidak berubah secara jumlah selama proses pelayanannya. Sedangkan asumsi-asumsi yang digunakan, adalah sebagai berikut: (i) Permintaan perjalanan penumpang pada suatu jalur, diasumsikan tetap; (ii) Analisis yang dilakukan hanya pada kondisi saat tahun 2011, sehingga tidak dilakukan upaya proyeksi; (iii) Jumlah armada kapal yang dioperasikan dianggap tetap, sehingga optimalisasi jumlah dan kapasitas kapal, tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini; (iv) Masalah penyusunan rute angkutan laut penumpang, adalah pemilihan rute untuk pasangan asal – tujuan dengan matriks perjalanan tetap; (v) Fungsi biaya link merupakan fungsi biaya operasi kapal di laut dan di pelabuhan; (vi) Fungsi tujuan diformulasikan berdasarkan informasi tentang besaran jumlah permintaan perjalanan penumpang, tarif yang diterapkan, dan biaya operasi kapal yang melayaninya.

Terkait dengan penyusunan rute, ada beberapa metoda yang dapat digunakan untuk mencari solusi optimal, antara lain *Iterative Decomposition Algorithm* [25], *Branch-and-Bound* [15], *Branch-and-Backtrack Heuristics* [23], *Branch-and-Bound + Stochastic Increment Assignment* [2], *Cumulative genetic Algorithm* [30], *Generalised Benders Decomposition Methods with Support Function* [12], *Ant Systems* [21], *Hybrids of Ant Systems, Ant Colony with Genetic Algorithm, Simulated Annealing, dan Tabu Search* [22], *Simulated Annealing* [16], *Branch-and-Bound Heuristic dan Simulated Annealing* [8], *Tabu Search* [6], *Genetic Algorithm dan Simulated Annealing* [7], *Chaotic Optimization Algorithm* [29], *Branch-and-Bound with Sensitivity Analysis Based* [17], *Descent Algorithm, Simulated Annealing, Tabu Search, dan Genetic Algorithm* [9], *Hybrid of Simulated Annealing dan Genetic Algorithm dan Evolutionary Simulated Annealing* [18], *Genetic Algorithm* [10], [14], dan [26], *Genetic Algorithm*

dan *Genetic Local search* [11], Genetika + VEGA [11], Kombinasi Penuh [4] dan [27], dan *Genetic Algorithm* dan *Tabu Search* [31].

Pada dasarnya, semua metoda tersebut mampu memberi hasil optimal sesuai yang diharapkan, namun yang paling sering mendapat perhatian adalah metoda heuristik, GA, karena metoda ini selalu berkembang. Hal ini mengindikasikan bahwa GA mampu memberi hasil optimal yang lebih baik dan selalu dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan analisisnya dengan melakukan penggabungan dengan metoda lain yang membentuk metoda heuristik. Dalam proses analisis, penelitian ini menggunakan pendekatan tiga tahap, yaitu tahap persiapan data, tahap inialisasi, dan tahap perbaikan solusi. Pada tahap persiapan data, karena rute yang disusun harus menyinggahi setiap jalur tepat satu kali, maka jaringan pelayanan yang dimodelkan harus merupakan Graph Euler.

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 menempatkan simpul baru karena alasan kendala kapasitas atau time windows (Bräysy & Gendreau, 2005, dalam [24]), maka kendaraan tersebut harus kembali ke depot.

Selanjutnya, kendaraan berikutnya dioperasikan dengan aturan yang sama seperti kendaraan pertama, sampai seluruh jalur dilewati oleh kendaraan yang tersedia di depot. Pada tahap perbaikan solusi menggunakan pendekatan metoda *Genetic Algorithm* (GA), dengan tahapan sebagai berikut: (i) 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; (ii) 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, maka digunakan pendekatan inverse, yaitu: .

$$Q[i] = \frac{1}{fitness[i]}$$

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

Menentukan proses seleksi yang akan digunakan. Seleksi digunakan untuk memilih individu-individu mana yang akan dipilih untuk proses kawin silang (*crossover*) dan mutasi. Di samping itu, seleksi 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*; (iv) 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 (pc)* sebesar 75%. Sedangkan dalam proses mutasi, jumlah kromosom yang akan mengalami mutasi dalam suatu populasi ditentukan berdasarkan tingkat mutasi atau *mutation rate (m)* sebesar 2%. 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 $Total\ Panjang\ Gen = Jml\ Gen\ dalam\ 1\ Kromosom \times Jml\ Kromosom$. Untuk memilih posisi gen yang mengalami mutasi dilakukan dengan membangkitkan bilangan acak antara satu sampai dengan Total panjang gen; dan (v) Menentukan kriteria penghentian iterasi, adalah kriteria yang digunakan untuk menghentikan proses iterasi dan solusi optimal dianggap sudah dicapai. Dalam penelitian ini, jika setelah dalam beberapa generasi berturut-turut diperoleh nilai *fitness* terendah yang tidak berubah.

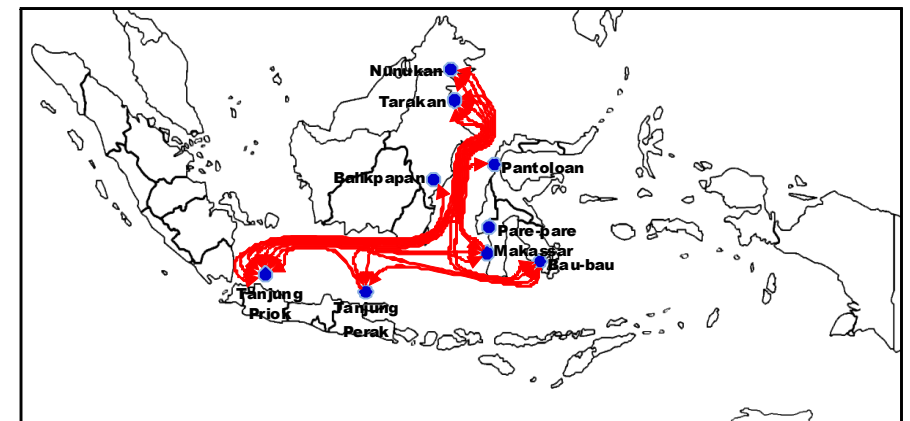
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada pola rute aktual, pelabuhan singgah disusun sedemikian rupa sehingga tidak semua link pergerakan penumpang dilayani langsung oleh satu kapal, namun pergerakannya mengikuti pola rute yang ada. Sehingga biaya operasi kapal yang

menghubungkan link pergerakan penumpang secara langsung dapat dikatakan tidak ada, karena sudah dibebankan pada setiap jalur yang dilaluinya. Sedangkan pola rute yang disusun model adalah menyinggahi setiap jalur tepat satu kali, sehingga setiap link pergerakan penumpang dilayani secara langsung. Akibatnya, biaya operasi kapal ditanggung link yang bersangkutan dan menjadi sangat besar. Di samping itu, karena satu kapal hanya disediakan untuk melayani pergerakan penumpang satu link, maka berakibat pada LF yang juga menjadi sangat rendah. Di sisi lain, waktu tempuh pergerakan penumpang dari pelabuhan asal ke pelabuhan tujuan yang semula rata-rata sebesar 54,44 Jam pada trayek kapal KM. Kerinci, dalam model ini turun sekitar 29,62% atau menjadi 38,332 Jam. Sedangkan waktu tempuh pergerakan penumpang dari pelabuhan asal ke pelabuhan tujuan yang semula rata-rata sebesar 63,92 Jam pada trayek kapal KM. Tidar, dalam model ini turun sekitar 35,93% atau menjadi 40,96 Jam. Berdasarkan link dan volume pergerakan penumpang yang harus dilayani oleh kapal KM. Kerinci hasil perbaikan solusi, terlihat terdapat link layanan bolak-balik, seperti Tanjung Priok – Balikpapan, Tanjung Priok – Tarakan, Tanjung Priok – Nunukan, Tanjung Priok – Pantoloan, Tanjung Priok – Pare-pare, Tanjung Priok – Bau-bau, Tanjung Perak – Tarakan, Tanjung Perak – Nunukan, Nunukan – Bau-bau, Nunukan – Makassar. Sedangkan link layanan yang hanya searah adalah Tanjung Priok – Makassar, Tanjung Perak – Tanjung Priok, Tarakan – Bau-bau, Makassar – Tarakan, dan Bau-bau – Tanjung Perak. Sehingga, rute trayek kapal KM. Kerinci hasil perbaikan solusi dapat

dimodifikasi menjadi Tanjung Priok – Balikpapan – Tarakan – Nunukan – Pantoloan – Pare-pare – Makassar – Bau-bau – Makassar – Pare-pare – Pantoloan – Nunukan – Tarakan – Balikpapan – Tanjung Perak – Tanjung Priok, seperti pada Gambar 1.

Namun demikian, dengan adanya modifikasi rute ini, akan membawa kemungkinan bahwa pergerakan penumpang pada link-link yang sebelumnya merupakan bagian dari pelayanan kapal KM. Tidar, menjadi berpeluang untuk ikut trayek kapal KM. Kerinci ini. Link-link pergerakan penumpang yang merupakan bagian layanan kapal KM. Tidar dari hasil perbaikan solusi dan berpeluang bergeser untuk ikut trayek KM. Kerinci, antara lain Balikpapan – Tarakan, Tarakan – Nunukan, Nunukan – Pantoloan, Pantoloan – Pare-pare, Pare-pare – Makassar, Makassar – Bau-bau, Bau-bau – Makassar, Makassar – Pare-pare, Pare-pare – Pantoloan, Pantoloan – Nunukan, Nunukan – Tarakan, Tarakan – Balikpapan, Balikpapan – Tanjung Perak, Makassar – Tanjung Priok, Balikpapan – Bau-bau, Bau-bau – Balikpapan, Balikpapan – Pare-pare, Pare-pare – Balikpapan, Balikpapan – Makassar, Makassar – Balikpapan, Balikpapan – Pantoloan, Pantoloan – Balikpapan, Balikpapan – Nunukan, Nunukan – Balikpapan, Tanjung Perak – Balikpapan, Tarakan – Pantoloan, Pantoloan – Tarakan, Tarakan – Makassar, Tarakan – Pare-pare, Pare-pare – Tarakan, Bau-bau – Tarakan, Nunukan – Pare-pare, Pare-pare – Nunukan, Pantoloan – Makassar, Makassar – Pantoloan, Pantoloan – Bau-bau, Bau-bau – Pantoloan, Pare-pare – Bau-bau, dan Bau-bau – Pare-pare. Sehingga, rute kapal KM. Tidar hasil perbaikan solusi hanya melayani link-link Tanjung



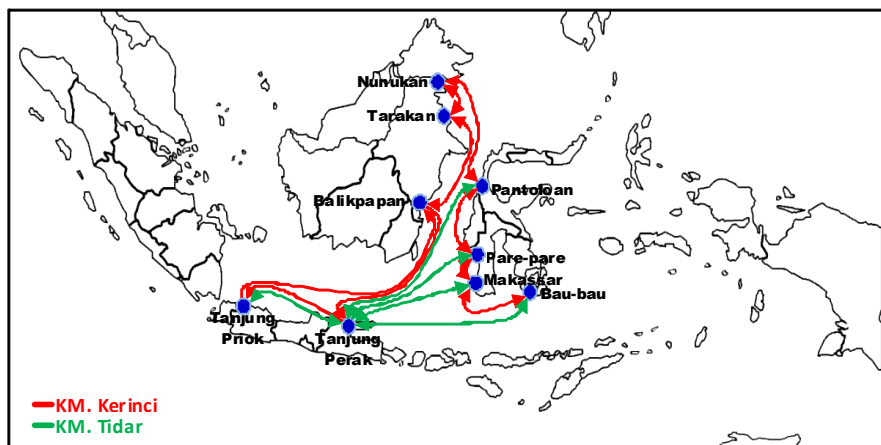
Sumber: Hasil Analisis

Gambar 1. Rute KM. Kerinci Hasil Perbaikan Solusi Awal Layak

Priok – Tanjung Perak, Tanjung Perak – Makassar, Makassar – Tanjung Perak, Tanjung Perak – Pare-pare, Pare-pare – Tanjung Perak, Tanjung Perak – Pantoloan, Pantoloan – Tanjung Perak, dan Tanjung Perak – Bau-bau. Peningkatan kualitas hasil dari modifikasi pada rute kapal KM. Kerinci yang diperoleh dari perbaikan solusi, menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan. Dari sisi biaya operasi, yang semula kapal KM. Kerinci membutuhkan Rp. 28.178.165.100,00 untuk melayani satu voyage rute hasil perbaikan solusi berdasarkan durasi satu voyage 1.500 Jam, dengan modifikasi ini hanya butuh 7.741.674.100,00, atau hampir 25% dari total biaya semula. Kerugian operasi yang semula mencapai Rp. 27.520.380.300,00 setiap voyage, dengan modifikasi rute KM. Kerinci hanya menderita kerugian operasional sebesar Rp. 4.131.889.300,00 atau kurang dari 20% kerugian semula. Pada kapal KM. Tidar, yang semula membutuhkan biaya pelayaran satu voyage sebesar Rp. 24.581.171.500,00, dengan adanya modifikasi ini menurun sangat drastis menjadi Rp. 5.872.122.600,00 atau hampir 20% dari biaya semula seperti pada Gambar 2.

Terkait dengan utilisasi jaringan, dari hasil perbaikan solusi, rute kapal KM. Kerinci menunjukkan angka utilisasi jaringan sebesar 28,00%. Sedangkan hasil modifikasi rute ini menunjukkan nilai sebesar 57,14%. Artinya, terjadi peningkatan utilisasi jaringan dua kali lipat dari kondisi semula. Di sisi lain, pada kapal KM. Tidar, utilisasi jaringan yang semula mencapai 76,60%, dengan

modifikasi ini turun menjadi 75%. Waktu tempuh rata-rata dari pelabuhan asal ke pelabuhan tujuan, sesuai trayek, untuk kapal KM. Kerinci hanya membutuhkan waktu sekitar 5,63 Jam, dan untuk rute kapal KM. Tidar rata-rata membutuhkan waktu selama 44,39 Jam. Dari hasil perhitungan besaran LF yang terjadi, menunjukkan nilai rata-rata sebesar 174,09% atau melebihi kapasitas kapal sampai hampir mencapai 75%. LF tinggi terjadi di Pelabuhan Balikpapan, Tarakan, Nunukan, Pantoloan, Makassar, dan Pare-pare, yaitu mencapai 150% – 283,46%, baik yang ke arah Pelabuhan Bau-bau maupun ke arah Pelabuhan Tanjung Priok. Bahkan pada Pelabuhan Pantoloan menduduki prestasi tertinggi, yaitu 283,46%. Dibandingkan dengan prestasi yang dicapai pada saat rute kapal KM. Kerinci hasil perbaikan solusi yang hanya mencapai 2,31%, LF rute hasil modifikasi perbaikan solusi sangat berbeda jauh. Perhitungan LF pada pergerakan penumpang yang diangkut oleh kapal KM. Tidar berdasarkan hasil modifikasi perbaikan solusi, menunjukkan nilai rata-rata hanya sebesar 9,12%. Prestasi tertinggi dicapai oleh Pelabuhan Tanjung Perak yang akan menuju ke Pelabuhan Pare-pare, yaitu mencapai 25,48%. Dibandingkan dengan prestasi yang dicapai pada saat rute kapal KM. Tidar hasil perbaikan solusi belum dimodifikasi yang hanya mencapai 11,53%, LF rute hasil modifikasi perbaikan solusi selisihnya tidak terpaut jauh. Hasil perbandingan antara kondisi aktual dan modifikasi rute kapal KM. Kerinci yang dihasilkan oleh perbaikan solusi berdasarkan durasi satu voyage 1.500 Jam, disajikan pada tabel 1.



Sumber: Hasil Analisis

Gambar 2. Hasil Modifikasi Rute KM. Kerinci Hasil Perbaikan Solusi

Tabel 1.
Perbandingan Kinerja Operasional Aktual KM. Kerinci dan KM. Tidar, dengan Modifikasi Rute Kapal KM. Kerinci Hasil Perbaikan Solusi

No.	Uraian Kinerja	Sat	Nama Kapal	
			KM. Kerinci	KM. Tidar
Kondisi Aktual				
1.	Biaya Operasi / <i>Voyage</i>	Rp.	4.591.719.437,16	6.548.184.256,12
2.	Utilitas Jaringan	%	38,10	78,57
3.	<i>Load Factor (LF)</i> Rata-rata	%	31,60	62,91
4.	Waktu Tempuh rata-rata dari pelabuhan asal ke pelabuhan tujuan, sesuai trayek	Jam	54,44	63,92
Modifikasi Rute KM. Kerinci Hasil Restrukturisasi Rute				
1.	Biaya Operasi / <i>Voyage</i>	Rp.	7.741.674.100,00	5.872.122.600,00
2.	Utilitas Jaringan	%	57,14	75,00
3.	<i>Load Factor (LF)</i> Rata-rata	%	174,09	9,12
4.	Waktu Tempuh rata-rata dari pelabuhan asal ke pelabuhan tujuan, sesuai trayek	Jam	5,63	44,39

Sumber: Hasil Analisis

KESIMPULAN

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. 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. 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 dan rute yang dihasilkan akan membentuk Graph Euler.

Rute terbaik diperoleh dari modifikasi restrukturisasi rute KM. Kerinci, yaitu Tanjung Priok – Balikpapan – Tarakan – Nunukan – Pantoloan – Pare-pare – Makassar – Bau-bau – Makassar – Pare-pare – Pantoloan – Nunukan – Tarakan – Balikpapan – Tanjung Perak – Tanjung Priok, sedangkan rute KM. Tidar adalah Tanjung Priok – Tanjung Perak – Makassar – Tanjung Perak – Pare-pare – Tanjung Perak – Pantoloan – Tanjung Perak – Bau-bau – Tanjung Priok. Dari sisi biaya operasi, modifikasi hasil restrukturisasi rute KM. Kerinci

hanya butuh 7.741.674.100,00, atau hampir 25% dari total biaya semula, sedangkan KM. Tidar membutuhkan biaya pelayaran satu voyage yang turun menjadi Rp. 5.872.122.600,00 atau hampir 20% dari biaya semula. Dari sisi utilisasi jaringan, kapal KM. Kerinci menunjukkan nilai sebesar 57,14%, sedangkan kapal KM. Tidar turun menjadi 75%.

Dari sisi LF, kapal KM. Kerinci menunjukkan nilai rata-rata sebesar 174,09%, sedangkan kapal KM. Tidar turun menjadi 9,12%. Dari sisi waktu tempuh rata-rata dari suatu pelabuhan asal ke pelabuhan singgah dalam rute pelayanan, kapal KM. Kerinci menunjukkan waktu rata-rata 5,63 Jam, sedangkan kapal KM. Tidar membutuhkan waktu rata-rata 44,39 Jam. 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.

UCAPAN TERIMA KASIH

Mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Perhubungan Laut, Dewan Redaksi, dan Instansi yang membantu penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] Chen, M., & Alfa, AS. 1991. A Network Design Algorithm Using A Stochastic Incremental Traffic Assignment Approach, *Transportation Science*, Vol. 25, No. 3, pp. 215–224.
- [3] 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.
- [4] Crainic, TG, Florian, M., & Leal, JE., (1990), A Model for The Strategic Planning of National Freight Transportation in Brazil: Methodology and Application, Part 1, 13–39.
- [5] 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, INROFMS, <http://transci.journal.informs.org/content/41/4/516.full.pdf>, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 06:35 PM.
- [6] Drezner, Z., & Salhi, S. 2000. Selecting A Good Configuration of One-Way and Two-Way Routes Using Tabu Search, *Control and Cybernetics*, Vol. 29, No. 3, pp.725–740.
- [7] Drezner, Z., & Salhi, S. 2002. Using Hybrid Metaheuristics for The One-Way and Two-Way Network Design Problem, *Naval Research Logistics (NRL)*, vol. 49, No. 5, pp. 449–463.
- [8] Drezner, Z., & Wesolowsky, GO. 1997. Selecting An Optimum Configuration of One-Way and Two-Way Routes, *Transportation Science*, Vol. 31, No. 4, pp. 386–394.
- [9] Drezner, Z., & Wesolowsky, GO. 2003. Network Design: Selection and design of Links and Facility Location, *Transportation research Part A*, Vol. 37, No. 3, pp. 241–256.
- [10] Feng, CM., Hsieh, CH., & Peng, SC. 2009. Optimization of Urban Bus Routes Based on Principles of Sustainable Transportation.
- [11] Frazila, RB. 2005. Optimising The Design of Freight Transport Network, Dissertation, Hirosima University.
- [12] Gao, Z., Wu, J., & Sun, H. 2005. Solution Algorithm for Bi-Level Discrete Network Design Problem, *Transportation Research Part B*, Vol. 39, No. 6, pp. 479–495.
- [13] 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.
- [14] Kim, BJ., & Kim, W., (2006), An Equilibrium Network Design Model with A Social Cost for Multimodal Networks, School of Air Transport, Transportation, and Logistics, Hankuk Aviation University, South Korea.
- [15] Leblanc, LJ. 1975. An Algoritma for The Discrete Network Design Problem, *Transportation Science*, Vol 9, No. 3, pp. 183–199;
- [16] Lee, C., & Yang, K. 1994. Network Design of One-Way Streets with Simulated Annealing, *Paper in Regional Science*, Vol. 73, No. 2, pp. 119–13.
- [17] Long, J., Gao, Z., Zhang, H., & Szeto, WY. 2010. A Turning Restriction Design Problem in Urban Road Networks, *European Journal of Operational Research*, Vol. 206, No. 3, pp. 469 – 57.
- [18] Miandoabchi, E., & Farahani, RZ. 2010. Optimizing Reserve Capacity of Urban Road Network In A Discrete Network Design Problem, *Advances In Engineering Software*, Vol. 42, No. 12, pp. 1041–1050.
- [19] 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.
- [20] Özyurt, Zeynep, Aksent, Deniz, Aras, & Necati, (n.d), Open Vehicle Routing Problem with Time Deadlines: Solution Methods and an Application, <http://home.ku.edu.tr/~daksent/Ozyurt-Aksen-Aras-GOR2005-OVRPTD.pdf>, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 07:05 PM.
- [21] Poorzahedy, H., & Abulghasemi, F. 2005. Application of Ant System to Network Design Problem, *Transportation Science*, Vol. 32, No. 3, pp 251–273.
- [22] Poorzahedy, H., & Rouhani, OM. 2007. Hybrid Metaheuristic Algorithms for Solving Network Design Problem, *European Journal of Operational Research*, Vol. 182, No. 2, pp. 578–596.
- [23] Poorzahedy, H., & Turnquist, MA. 1982. Approximate Algorithms for The Discrete Network Design Problem, *Transport Research-B*, Vol. 16B, No. 1, pp. 45–55;
- [24] Salaki, Deiby Tineke. 2009. Penyelesaian Vehicle Routing Problem Menggunakan Beberapa Metoda Heuristik Konstruktif, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- [25] Steenbrink, PA. 1974. Transport Network Optimization In The Dutch Integral Transportation Study, *Transportation Research*, Vol. 8, No. 1, pp. 11–27.
- [26] Taniguchi, E., Thompson, RG, Yamada, T. 2007. Incorporating Risks In City Logistics, *City Logistics VI, Sixth International Conference On City Logistics*, pp. 1–20.
- [27] Tavassy, LA. 1996. Modeling European Freight Transport Flows, PhD Thesis, TU. Delft.
- [28] Woensel, T. Van, Kerbache, L., Peremans, H., & Vandaele, N., (n.d), A Vehicle Routing Problem With Stochastic Travel Times, http://www.icsd.aegean.gr/aic_2003/papers/vanwoensel-kerbache.pdf, diunduh tanggal 6 Juli 2010 pukul 08.22 PM.
- [29] Wu, JJ., Sun, HJ., Gao, ZY., & Zhang, HZ. 2009. Reversible Lane-Based Traffic Network Optimization with An Advanced Traveller information System. *Engineering Optimization*, Vol. 41, pp. 87–97.
- [30] Xiong, Y., & Schneider, JB. 1992. Transportation Network Design Using A Cumulative Algorithm and neural Network, *Transportation Research Record*, Vol. 1364, pp. 37–44.
- [31] Yamada, T., Frazila, RB, Castro, J., & Taniguchi, E. 2009. Designing Multimodal Freight Transport Networks: A Heuristic Approach and Applications, *Transport Science*. Vol. 43, No. 2, pp. 129–143.

