

Optimasi Rute Angkutan Publik dengan Menggunakan Metode Algoritma Clark-Wright

Ary Arvianto^{*1)}, Sriyanto²⁾, Lo Hendrawan Wijaya³⁾

^{1,2,3)}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
Email: aryarvi@yahoo.com, sriyanto.st.mt@gmail.com, lohendrawan@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan dalam merancang rute perjalanan dengan biaya minimum untuk melayani pelanggan dari berbagai kalangan dengan sejumlah armada kendaraan adalah tantangan mendasar di lapangan, ketika jumlah pelanggan yang akan diantar atau dijemput bersifat tidak pasti selama proses perencanaan. Tujuan dari jurnal ini adalah untuk mengembangkan model *Vehicle Routing Problem* (VRP) untuk memecahkan masalah transportasi angkutan publik. Penelitian ini juga mempertimbangkan data demand probabilistik pada sistem *pickedup-delivery* dalam sistem transportasi umum perkotaan. Penelitian ini menggunakan data yang dikumpulkan dari Paguyuban Angkot Ngesrep - Undip dan diselesaikan dengan menggunakan Algoritma *Clarke - Wright Savings*. Penelitian ini juga menggunakan pendekatan simulasi dalam menyelesaikan variabel *demand* probabilistik. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa, optimasi rute ini layak dan menunjukkan perbaikan pada rute saat ini baik pada jumlah minimal armada angkot yang digunakan, jumlah kilometer, dan total waktu tempuh dalam sekali perjalanan rute. Hasilnya menyatakan persentase penghematan biaya bahan bakar minyak berada di angka 43%. Persentase penghematan ini juga berdampak pada peningkatan laba dari tiap supir angkot dengan persentase meningkat hingga 35%.

Kata Kunci: *algoritma clarke-wright*, optimasi, transportasi, *VRP*

1. Pendahuluan

Dewasa ini, bisnis angkutan kota (angkot) semakin merebak di kota Semarang, termasuk di lokasi Ngesrep daerah kampus Universitas Diponegoro (Undip). Hal ini disebabkan oleh pesatnya pembangunan di lokasi Undip yang berdampak pada peningkatan jumlah mahasiswa Undip yang juga cukup pesat. Namun, bisnis angkot ini tidak diimbangi dengan adanya perbaikan sistem yang mumpuni sehingga memunculkan berbagai keluhan dari konsumen maupun non-konsumen. Salah satu keluhan yang sering muncul adalah faktor ketidakpastian dalam menunggu, seringkali konsumen dan supir angkot saling menunggu sehingga tidak terjadi titik temu yang sebenarnya dapat menguntungkan kedua belah pihak jika hal ini dapat diatasi

Di lokasi Ngesrep, Universitas Diponegoro, juga masih banyak keluhan bahwa calon penumpang dan supir angkot saling menunggu. Waktu tunggu rata-rata ini bisa lebih bisa kurang, dipengaruhi oleh persepsi supir dalam menunggu. Jika supir ingin menunggu sampai penuh, maka waktu tunggu juga akan semakin lama. Padahal saat menunggu, rata-rata supir akan menunggu hingga terisi 5 – 10 penumpang, dan akan ditunggu maksimal 60 menit, sehingga mengorbankan kepentingan penumpang. Padahal juga ada kemungkinan penumpang lain menunggu di depan, melalui proses wawancara diketahui bahwa para calon penumpang yang menunggu di tengah rute angkot memiliki waktu tunggu mencapai 30 menit. Hal ini juga dipengaruhi oleh tidak meratanya antrian angkot yang ada di pos Ngesrep dekat Patung Diponegoro dengan angkot yang langsung jalan di rute. Angkot yang antri bisa mencapai rata-rata 25 yang berarti lebih dari 35% angkot menganggur dari total rata-rata 70 armada yang diterjunkan dalam sehari. Melihat keadaan tersebut yang penuh dengan ketidakpastian dalam proses menunggu dan tidak meratanya antrian, maka diperlukan sebuah perbaikan agar keberangkatan tiap armada angkot ini dapat berjalan lebih efektif.

Dengan menganalisis kondisi saat ini pada Paguyuban angkutan kota Ngesrep, merancang optimasi rute dengan algoritma *Clarke-wright savings* ke paguyuban angkutan kota Ngesrep, dan menganalisis jarak, waktu, dan biaya tempuh *pick up delivery services* yang lama dengan *pick up*

delivery services yang baru diharapkan akan didapatkan optimasi rute yang menguntungkan supir-supir angkot yang tergabung dalam Paguyuban.

2. Metode

Menurut Bowersox (2010), transportasi merupakan pergerakan suatu produk dari suatu lokasi ke lokasi lain yang merepresentasikan awal dari suatu rangkaian *supply chain* sampai kepada konsumen. Tiga hal yang sangat penting dalam mengukur kinerja transportasi, yaitu biaya, kecepatan, dan konsistensi.

Vehicle Routing Problem merupakan permasalahan distribusi yang mencari serangkaian rute untuk sejumlah kendaraan dengan kapasitas tertentu dari satu atau lebih depot untuk melayani konsumen. Toth dan Vigo (2002) mengemukakan tujuan yang ingin dicapai dalam VRP di antaranya ongkos yang minimum, jumlah armada minimum, keseimbangan rute, dan meminimalkan keluhan dari konsumen.

Anbuudayasankar and Ganesh, (2008) mendefinisikan permasalahan dari SVRPSPD adalah menentukan himpunan dari K rute kendaraan yang memenuhi kondisi berikut :

1. Setiap rute berawal dan berakhir di depot.
2. Setiap konsumen harus dilayani tepat satu kali oleh satu kendaraan.
3. Total permintaan konsumen dari setiap rute tidak melebihi kapasitas kendaraan.
4. Total jarak dari semua rute diminimumkan.

Permasalahan tersebut kemudian diformulasikan ke dalam model matematika dengan tujuan meminimumkan total jarak tempuh perjalanan kendaraan.

Didefinisikan variabel keputusannya adalah :

$$X_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{jika kendaraan } k \text{ melakukan perjalanan dari } v_i \text{ ke node } v_j \\ 0 & \text{jika selainnya} \end{cases}$$

$$u_i^k = \begin{cases} 1 & \text{jika node } v_i \text{ dilayani oleh kendaraan } k \\ 0 & \text{jika tidak} \end{cases}$$

Selanjutnya fungsi tujuannya meminimumkan total jarak tempuh perjalanan kendaraan. Jika z adalah fungsi tujuan, maka

Minimumkan

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} X_{ij}^k \dots\dots\dots (2.3.1) \quad (2.1)$$

Dengan kendala :

$$\sum_{j=1} X_{0j}^k \leq 1 \dots (2.3.2) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\sum_{i=0} X_{ij}^k = 1 \dots (2.3.3) \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\sum_{i=0} X_{ij}^k - \sum_{i=0} X_{ji}^k = 0 \dots (2.3.4) \dots\dots\dots (2.4)$$

$$z_i^k + y_i^k \leq Q \dots (2.3.5) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$(z_i^k - d_j - z_j^k) X_{ij}^k = 0 \dots (2.3.6) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$(y_i^k + p_j - y_j^k)X_{ij}^k = 0 \dots (2.3.7) \dots \dots \dots (2.7)$$

$$z_i^k \geq 0 \dots (2.3.8) \dots \dots \dots (2.8)$$

$$y_i^k \geq 0 \dots (2.3.9) \dots \dots \dots (2.9)$$

$$X_{ij}^k \in \{0,1\} \dots (2.3.10) \dots \dots \dots (2.10)$$

$$\forall_k = 1, \dots, K \text{ and } i, j = 1, \dots, n \dots (2.3.11) \dots \dots \dots (2.11)$$

Muatan kendaraan untuk memenuhi permintaan pelanggan harus dimaksimalkan namun tidak lebih dari kapasitas kendaraan.

Algoritma *Clarke-wright savings* (*Clarke-wright savings Method*) merupakan suatu metode yang ditemukan oleh Clarke dan Wright pada tahun 1964. Metode ini dipublikasikan sebagai suatu algoritma yang digunakan sebagai solusi untuk permasalahan rute kendaraan dimana sekumpulan rute pada setiap langkah ditukar untuk mendapatkan sekumpulan rute yang lebih baik, dan metode ini digunakan untuk mengatasi permasalahan yang cukup besar, dalam hal ini adalah jumlah rute yang banyak.

Algoritma *Clarke-wright savings* melakukan perhitungan penghematan yang diukur dari seberapa banyak dapat dilakukan pengurangan jarak tempuh dan waktu yang digunakan dengan mengaitkan node-node yang ada dan menjadikannya sebuah rute berdasarkan nilai saving yang terbesar yaitu jarak tempuh antara source node dan node tujuan. Proses perhitungannya, metode ini tidak hanya menggunakan jarak sebagai parameter, tetapi juga waktu untuk memperoleh nilai saving yang terbesar untuk kemudian disusun menjadi sebuah rute yang terbaik. Metode ini merupakan metode yang cukup sederhana sehingga mudah diimplementasikan untuk menentukan rute kendaraan.

Formulasi dari algoritma clarke and wright yaitu sejumlah kendaraan K dengan kapasitas Q dan jumlah permintaan q_i untuk didistribusikan ke beberapa titik V_j ($j = 1, 2, \dots, m$) berawal dari depot, dengan jarak antar node C_{ij} ,diantara beberapa titik diharuskan memenuhi yang terdekat untuk meminimalkan total jarak yang di tempuh kendaraan.

3. Pembahasan dan Hasil

Berdasarkan modifikasi dari jurnal karya Eshetie Berhan (2015), model matematika pada proses *pick-up and delivery services* dari Paguyuban Angkot Ngesrep-UNDIP adalah:

Meminimalkan jarak tempuh

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} c_{ij} X_{ij}^k \dots \dots \dots (3.1)$$

Jumlah minimal armada angkot

$$M_j = \frac{\text{Total durasi untuk sebuah rute (menit)}}{10 \text{ menit (waktu tunggu maksimal)}} \dots \dots \dots (3.2)$$

Setiap node dikunjungi minimal satu armada

$$\sum_{i=0} X_{ij}^k \geq 1 \dots \dots \dots (3.3)$$

Setiap kendaraan datang dan pergi dari node terakhir

$$\sum_{i=0} X_{ij}^k - \sum_{i=0} X_{ji}^k = 0 \dots \dots \dots (3.4)$$

Jumlah penumpang tidak melebihi kapasitas

$$z_i^k + y_i^k \leq Q \dots \dots \dots (3.5)$$

Proses Penumpang turun

$$(z_i^k - d_j - z_j^k)X_{ij}^k = 0 \dots \dots \dots (3.6)$$

Proses Penumpang naik

$$(y_i^k + p_j - y_j^k)X_{ij}^k = 0 \dots \dots \dots (3.7)$$

Indeks

- i = node asal, i = 1, 2, 3, ..., 15
- j = node tujuan, j = 1, 2, 3, ..., 15
- k = nomor armada, k = 1, 2, 3, ..., 105

Notasi

- V = kumpulan node $V = \{v1, v2, v3, \dots, v6\}$ yang menjadi terminal
- K = jumlah armada, total 105 armada
- d_j = penumpang turun di node j
- p_j = penumpang naik di node j
- c_{ij} = jarak dari node i ke node j

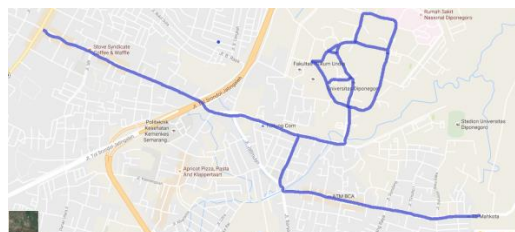
Variabel Keputusan

- $X_{ij}^k = 1$, jika armada k melakukan perjalanan dari node i ke node j, selain itu 0
- z_i^k = jumlah penumpang yang tersisa di armada k saat meninggalkan node i
- z_j^k = jumlah penumpang yang tersisa di armada k saat meninggalkan node j
- y_i^k = kumulatif penumpang yang diangkut armada k saat meninggalkan node i
- y_j^k = kumulatif penumpang yang diangkut armada k saat meninggalkan node j

Parameter

- Q = kapasitas kendaraan, maksimal 13

Kondisi saat ini hanya terdapat 1 rute utama yang disepakati oleh Paguyuban Angkot Ngesrep yaitu Patung Diponegoro – Stove Syndicate – Super Indo – Padang Murah – Politeknik – Masjid Kampus – FH – FISIP – FT – FMIPA – FEB – FK – Masjid Kampus – Sirajudin - Pertigaan Sirajudin, Jatimulyo, Banjarsari – Banjarsari – Timoho – Imam Suprpto – Timoho – Banjarsari - Pertigaan Sirajudin, Jatimulyo, Banjarsari – Sirajudin – Politeknik – Padang Murah – Super Indo – Stove Syndicate – Patung Diponegoro. Rute ini ditunjukkan oleh Gambar 1. Titik-titik rute ini menghasilkan jarak tempuh sebesar 11,25 km untuk sebuah armada angkot. Waktu tempuhnya tidak termasuk dengan proses *loading – unloading* sebesar 44,73 menit.



Gambar 1: Rute saat ini

Jika melihat kondisi Paguyuban Angkot Ngesrep saat ini, rute yang ada masih belum optimal. Menurut survei, hal ini disebabkan oleh 35% lebih dari supir angkot mengantri di patung Diponegoro, sehingga proses masuknya penumpang di daerah sana memang cepat namun keberadaan angkot menjadi tidak efektif. Seandainya jika, pos-pos antrian dibuat lebih banyak, angkot dapat tersebar di beberapa titik rawan sehingga dapat melayani konsumen lebih baik lagi. Selain itu, hal ini juga menyebabkan ketidakpastian menunggu di berbagai titik lainnya.

Proses menunggu tidak dapat diprediksi kadang cepat namun seringkali lama hingga waktunya berada di kisaran 5 – 30 menit. Jika konsumen sedang terburu-buru hampir bisa dipastikan dia akan memilih moda transportasi umum lainnya walaupun harganya lebih mahal daripada transportasi angkot.

Biaya yang dikeluarkan oleh seorang supir angkot dalam sekali melakukan perjalanan rute di atas, berdasarkan hasil wawancara adalah sebesar Rp 20.000,00 untuk dua kali perjalanan rute atau secara kasar adalah Rp 10.000,00 untuk sekali perjalanan rute, namun jika berdasarkan asumsi sesuai dengan jenis kendaraan yang digunakan $11,25 \text{ km} \times \text{Rp } 812,5 = \text{Rp } 9.140,63$. Hasil ini dianggap mewakili kondisi permasalahan yang ingin dioptimalkan saat ini.

Analisis Hasil

Penentuan *initial node* dilakukan untuk mengkontruksi rute baru. Hal ini dilakukan untuk mempermudah pembagian rute dari keseluruhan *node* (total 15 *node*). *Initial node* dipilih mempertimbangkan banyaknya permintaan di lapangan. Dari hasil pengamatan terpilih 6 lokasi utama yang akan dijadikan titik awal (depot) dalam membangun rute-rute angkutan yang baru yaitu node 1, 7,8,9,10 dan 15. Berdasarkan algoritma *Clarke-Wright Savings*, rute dikonstruksi melalui proses pendataan data distribusi antar kedatangan penumpang di setiap *node*. Proses berjalan dari proses *pickup* calon penumpang yang muncul di berbagai *node* hingga angka kumulatifnya mencapai kapasitas maksimal armada angkot atau seluruh penumpang sudah terlayani. Setiap armada berangkat dari setiap titik-titik terminal yang sudah ditentukan dalam solusi, sehingga terbagi dalam berbagai area untuk memaksimalkan kualitas pelayanan angkot kepada calon penumpang. Algoritma ini kemudian memilih calon penumpang selanjutnya dari daftar lokasi yang tersedia di solusi dan kondisi kapasitas armada, apabila kapasitas sudah penuh maka armada akan langsung menjalankan fungsi *delivery* dengan mengantarkan ke tujuan penumpang masing-masing. Pada akhirnya, armada akan kembali lagi ke terminal masing-masing setelah semua penumpang selesai terlayani dan semua *node* telah dikunjungi. Proses ini menghasilkan 13 rute dari 6 *initial node* yang telah ditentukan, yaitu *initial node* 1 menghasilkan 3 rute, *node* 7,8,9, 10 dan 15 masing-masing menghasilkan 2 rute seperti yang terlihat pada tabel 1.

Tabel 1. Rekapitan Usulan Rute Terpilih

No	Rute	Jumlah Armada	Jarak (km)	Waktu (menit)
1	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 1	5	7,76	22,7
2	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7 – 9 – 1	5	7,2	27,95
3	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 8 – 10 – 1	5	6,72	21,45
4	7 – 6 – 5 – 4 – 3 – 2 – 1 – 7	4	6,87	19,81
5	7 – 6 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 7	5	8,11	22,87
6	8 – 6 – 5 – 4 – 3 – 2 – 1 – 8	4	5,92	17,65
7	8 – 6 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 8	5	7,23	21,23
8	9 – 6 – 5 – 4 – 3 – 2 – 1 – 9	4	6,21	18,67
9	9 – 6 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 9	5	6,76	23,13
10	10 – 6 – 5 – 4 – 3 – 2 – 1 – 10	4	5,34	16,25
11	10 – 6 – 11 – 12 – 13 – 14 – 15 – 10	4	5,59	18,45
12	15 – 14 – 13 – 12 – 11 – 5 – 4 – 3 – 2 – 1 – 15	5	7,75	23,25
13	15 – 14 – 13 – 12 – 11 – 6 – 7 – 8 – 9 – 10 – 15	6	8,4	30,02
Rata – rata		4,69	6,84	21,8

Proses selanjutnya diperlukan simulasi untuk melihat kinerja dari model yang sudah dirancang, hasilnya dari proses 30 kali running diperoleh data total *demand*, rata-rata panjang antrian, dan rata-rata lama waktu tunggu dari antrian. Data *summary output* dari proses 30 kali *running* simulasi akan ditampilkan di dalam tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Summary output

Run	Total Demand	Avg. Length	Avg. Wait (menit)
Mean	2830	0.94	3.57
Min	2746	0.29	1.25
Max	2946	1.70	5.46
Stdv	57	0.33	1.23

Melalui hasil simulasi yang tertuang di dalam tabel 2, menunjukkan bahwa jumlah minimal penumpang yang harus dilayani adalah 2746 orang dan jumlah maksimalnya adalah 2946 orang dari proses 30 kali running. Untuk panjang antrian rata-rata di angka yang rendah yaitu 0,94 orang dan waktu tunggu juga dibawah ekspektasi yang sebenarnya diharapkan rata-rata 10 menit, bisa memunculkan angka rata-rata 3,57 menit waktu tunggu dalam proses simulasi. Dari data tersebut, model solusi yang akan ditawarkan kepada Paguyuban Angkot telah diverifikasi dengan baik, karena rata-rata panjang antriannya rendah di angka 1 – 2 orang yang menunggu juga waktu tunggu rendah di angka 1 – 6 menit di bawah target 10 menit waktu tunggu. Oleh karena itu model ini masih *feasible* apabila total penumpang yang muncul ada di kisaran 2700 – 3000 penumpang dalam sehari. Model ini membutuhkan minimal 61 armada untuk proses *pickup delivery* Paguyuban Angkot untuk melayani calon penumpang sehari-harinya.

Analisis Hasil Optimasi

Dapat dilihat pada tabel 3 di bawah ini, rute perjalanan saat ini memiliki jarak perjalanan yang lebih banyak jika dibandingkan dengan rute perjalanan hasil optimasi. Hal ini disebabkan karena pada rute perjalanan, supir-supir Paguyuban Angkot Ngesrep lebih terfokus pada 1 terminal di Patung Diponegoro dan kurang fokus pada potensi titik-titik lainnya, sehingga bisa jadi menghilangkan potensi konsumen yang sebenarnya punya peluang cukup besar. Rutenya adalah Patung Diponegoro – Stove Syndicate – Super Indo – Padang Murah – Politeknik – Masjid Kampus – FH – FISIP – FT – FMIPA – FEB – FK – Masjid Kampus – Sirajudin - Pertigaan Sirajudin, Jatimulyo, Banjarsari – Banjarsari – Timoho – Imam Suprpto – Timoho – Banjarsari - Pertigaan Sirajudin, Jatimulyo, Banjarsari – Sirajudin – Politeknik – Padang Murah – Super Indo – Stove Syndicate – Patung Diponegoro. Titik-titik rute ini menghasilkan jarak tempuh sebesar 11,25 km untuk sebuah armada angkot. Waktu tempuhnya tidak termasuk dengan proses *loading – unloading* sebesar 44,73 menit.

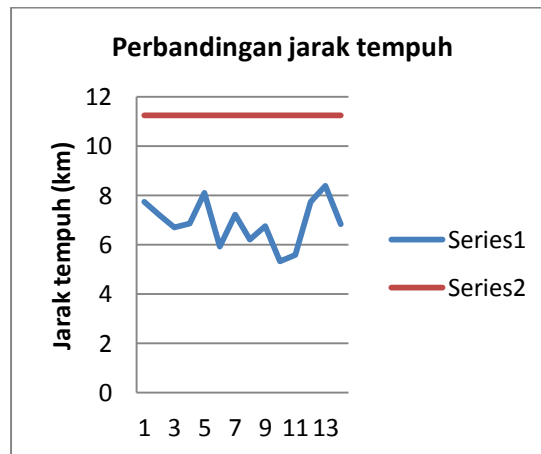
Tabel 3: Perbandingan jarak dan waktu tempuh sesudah dan sebelum optimasi

	Jarak (km)	Waktu (menit)
Hasil Optimasi	6,84	21,8
Sebelum	11,25	44,73

Optimasi		
----------	--	--

Rute optimasi melalui algoritma *clarke-wright savings* dapat menurunkan total jarak tempuh serta waktu tempuhnya. Hal ini disebabkan pada rute sebelum dioptimasi terjadi ketidakmerataan persebaran angkot. Setelah dioptimasi pada proses pengolahan data di bagian 4.4, persebarannya menjadi lebih merata serta kebutuhan rata-rata angkot perlu ditambah, hal ini diperlukan untuk meningkatkan kualitas pelayanan dari Paguyuban Angkot sendiri.

Total jarak tempuh rata-rata per armada dalam sekali perjalanan rute berada di kisaran 6,84 km (*series 2*) berkurang 4,41 km dari jarak rata-rata awal sebesar 11,25 km (*series 1*), yang dapat dilihat di Gambar 2 di bawah. Minimasi jarak adalah fokus utama dari algoritma *clarke-wright savings*, dengan jarak tempuh yang minimal dan rute yang minimalis tetapi tetap produktif karena sudah mempertimbangkan rata-rata penumpang di setiap 10 menit per areanya, diperoleh sejumlah rute di atas yang minimal perkiraannya melayani 9 penumpang. Selain itu terminalnya menjadi ada 5 buah, yaitu di Patung Diponegoro, FH & FISIP, FMIPA & FEB, FT, FK, dan Imam Suprpto, tujuannya adalah meminimalisir antrian angkot di area Patung Diponegoro serta mengaktifkan lagi potensi penumpang di area lain.



Gambar 2: Perbandingan Jarak

Total waktu tempuh setelah dioptimasi juga menjadi berkurang dari 44,73 menit (*series 1*) menjadi hanya rata-rata 21,8 menit (*series 2*) saja dalam sekali perjalanan rute yang dapat dilihat di Gambar 3 di bawah. Selisihnya mencapai 22,93 menit penghematan waktu. Jika waktu yang diperlukan semakin cepat, berarti pelayanan semakin cepat. Jika pelayanan semakin cepat, pelanggan akan puas. Jika pelanggan puas, tingkat kepercayaan publik terhadap angkot semakin meningkat. Selain itu, waktu pelayanan yang cepat juga memberi dampak pada supir angkot yang saat ini sering mengantri di Patung Diponegoro hanya bisa *running* 2 kali, menjadi bisa lebih dari 2 rute dalam sehari. Hal ini menyebabkan peluang seorang supir mendapatkan pendapatan bersih lebih besar dari Rp 40.000,00 bisa meningkat lebih tinggi.



Gambar 3: Perbandingan Waktu

Analisis Biaya dan Pendapatan

Jika melihat dari hasil optimasi, biaya yang diperlukan menurun dari rata-rata Rp 10.000,00 berkurang Rp 4.350,62 menjadi Rp 5.649,38 per sekali perjalanan rute. Penghematan ini sangat besar, karena persentase penghematannya mencapai rata-rata 43% dari biaya awal. Menurut Angel A. Juan (2009), jika solusi yang ditawarkan bisa memberikan selisih perubahan hingga berkurang lebih dari sama dengan 3%, maka solusi tersebut baik dan layak untuk diperhitungkan. Dan karena selisihnya bisa lebih dari 3% untuk semua rute yang diusulkan, maka semua rute ini layak untuk dijalankan oleh Paguyuban Angkot. Perhitungan biaya ini jika diakumulasikan untuk beberapa kali perjalanan juga akan sangat terasa untuk meminimalkan pengeluaran dari supir angkot, sehingga pendapatan yang diperoleh tidak terpotong besarnya biaya BBM, tabel 4 berikut ini perkiraan laba yang akan diperoleh dengan rute yang diusulkan :

Tabel 4. Perkiraan Laba per angkot

Laba rata-rata	Rute Awal (± 70 armada)	Rute Optimasi (min. 61 armada)
	Rp 40.000,00	Rp 54.239,71

Dengan melihat perkiraan laba yang akan diterima, jika running rute juga hanya dapat dilakukan 2 kali dalam satu hari kerja, maka semua rute baru kecuali rute nomor 11 memperoleh keuntungan yang lebih besar daripada keuntungan dari rute awal yang berada di kisaran Rp 40.000,00. Rata-rata laba Rp 54.239,71 jika dibandingkan dengan rata-rata laba awal maka meningkat sekitar 35%. Pendapatan ini, diperkirakan dengan *expected passenger* yang akan diperoleh dari tiap node yang dilalui dari setiap rute. Namun, dengan pembagian terminal di beberapa node, maka kemungkinan untuk bisa *running* sampai 3 kali sangatlah terbuka, sehingga pendapatan yang diperoleh pun bisa lebih besar daripada perkiraan yang sudah dikalkulasi. Khusus untuk rute nomor 11, pendapatannya lebih kecil karena rute yang dilalui memanglah lebih jarang penumpang yakni bertujuan ke arah Bulusan, dan area yang dilalui jaraknya juga lebih sempit yakni hanya 5,59 km dibanding dengan rute lainnya sehingga walaupun laba lebih kecil, sebenarnya biaya yang dikeluarkan pun juga lebih kecil.

4. Kesimpulan

Rute angkutan saat ini, oleh Paguyuban Angkot Ngesrep adalah merupakan rute yang menghasilkan performansi sistem *pickup delivery* yang belum optimal. Jarak tempuh rute ini sebesar 11,25 km dengan waktu sebesar 44,73 menit. Rata-rata biaya BBM sebesar Rp 10.000,00 untuk sekali perjalanan rute. Dari hasil perhitungan *clark and wright* dan simulasi telah menghasilkan total 61 armada yang dibutuhkan minimal untuk memenuhi permintaan 2700 – 3000 penumpang dalam sehari sehingga rata-rata armada yang dibutuhkan masih sesuai dari rata-rata 70 armada yang beroperasi.

Hasil simulasi juga menunjukkan rata-rata panjang antrian yang rendah yakni 0,94 penumpang dengan rata-rata lama antrian sekitar 3,57 menit. Total jarak tempuh rata-rata per armada dalam sekali perjalanan rute berada di kisaran 6,84 km berkurang 4,41 km dari jarak rata-rata awal sebesar 11,25 km. Untuk total waktu tempuh setelah dioptimasi juga menjadi berkurang dari 44,73 menjadi hanya rata-rata 21,8 menit saja dalam sekali perjalanan rute. Biaya yang diperlukan menurun dari rata-rata Rp 10.000,00 berkurang Rp 4.350,62 menjadi Rp 5.649,38 per sekali perjalanan rute. Persentase penghematannya mencapai 43% dari biaya awal. Performansi sistem perbaikan dari penelitian ini menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan sistem saat ini. Penelitian lanjutan dapat dikembangkan dengan mempertimbangkan faktor lain seperti, kecepatan kendaraan dan probabilitas tujuan penumpang. Selain itu, faktor pengumpulan data lapangan semakin banyak akan menghasilkan solusi yang lebih baik.

Daftar Pustaka

- Anbuudayasankar, S., Ganesh, K. (2008). *Mixed-integer linear programming for vehicle routing problem with simultaneous delivery and pick-up with maximum route-length*. The International Journal of Applied Management and Technology. Vol 6, 31-52.
- A. Juan, et al. (2009). *Applying Simulation and Reliability to Vehicle Routing Problems with Stochastic Demands*. International RCRA workshop. Vol 16.
- Berhan, Eshetie. (2015). *Stochastic Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery Services*. Addis Ababa University, Addis Ababa, Ethiopia.
- Bowersox, D. J., Closs, D. J. & Cooper, M. B. (2010). *Supply Chain Logistics Management: Third Edition*. New York, Unites States, McGraw- Hill Education (Asia).
- Clarke, G. and J. Wright. (1964). *Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points*. Operations Research 12. p568–581.
- Toth, P. dan Vigo, D. (2002). *An Overview of vehicle routing problems*. Philadelphia, SIAM.