

SIMULASI KONSUMSI ENERGI LISTRIK KRL TERHADAP KURVA KECEPATAN - WAKTU MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIK

Muhamad Rifqi^{*)}, Tejo Sukmadi, and Yuningtyastuti

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Diponegoro Semarang
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: kopong00@yahoo.co.id

Abstrak

Pemanfaatan energi listrik dalam bidang transportasi merupakan salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan transportasi perkotaan yang semakin kompleks di kota-kota besar seperti Jakarta. Salah satu sarana transportasi tersebut adalah Kereta Rel Listrik (KRL). KRL Jabotabek melayani rute komuter di wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi, Serpong, dan Parungpanjang. Dengan padatnya jadwal perjalanan KRL Jabodetabek yang beroperasi setiap hari dari jam 06:00 sampai 23:00 dalam melayani kebutuhan transportasi penumpang Jabodetabek, sudah pasti akan mengkonsumsi energi listrik yang tidak sedikit untuk mengoperasikan KRL. Sedangkan konsumsi energi listrik merupakan salah satu bagian penting diantara biaya operasional KRL. Strategi pengemudian *acceleration* (percepatan), *coasting* (peluncuran), dan *braking* (pengereman) pada KRL merupakan faktor penting yang mempengaruhi sedikit banyaknya konsumsi energi listrik yang dibutuhkan dalam satu perjalanan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaturan nilai *acceleration*, *coasting* dan *braking* menggunakan metode Algoritma Genetik dengan berpatokan pada dua kurva kecepatan - waktu, yaitu kurva Trapezoidal dan kurva Quadrilateral. Dari hasil simulasi dapat diperoleh bahwa kedua kurva kecepatan - waktu dapat diaplikasikan pada KRL sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan.

Kata kunci: Energi listrik, KRL dan Algoritma Genetik.

Abstract

The utilization of electrical energy in the field of transportation is one of the solutions to overcome the problems of an increasingly complex urban transport in big cities such as Jakarta. One of the means of transportation is electric rail Train (KRL). KRL Jabotabek serving commuter routes in the region Jakarta, Bogor, Depok, Bekasi, Tangerang, Serpong, and Parung panjang. With the denseness of the KRL itinerary Jabodetabek operates daily from 06:00 AM until 11:00 PM in serving the needs of passenger transport other jobs, it's certainly will consume electrical energy did little to operate the KRL. While the consumption of electrical energy is one important part of the operational costs of KRL. Driving strategy of acceleration, coasting and braking at KRL is an important factor that affects the little amount of electric energy consumption needs in one trip. Research aims to analyse the setting value of the acceleration, coasting and braking method using Genetic Algorithm with based on two speed-time curve, namely the Trapezoidal curve and Quadrilateral curve. From the results of simulations can be obtained that both speed-time curve can be applied to the KRL according to your needs.

Key words: electrical energy, KRL and Genetic Algorithms.

1. Pendahuluan

Transportasi merupakan bidang kegiatan yang sangat penting dalam kehidupan masyarakat, antara lain karena keadaan geografis Indonesia yang terdiri dari ribuan pulau kecil dan besar, perairan yang sebagian besar terdiri dari lautan, sungai dan danau. Hal ini memungkinkan pengangkutan dilakukan melalui jalur darat, perairan, dan udara dengan menggunakan alat transportasi yang cepat dan nyaman.

Seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, kereta api telah menjadi salah satu solusi dalam mengatasi permasalahan transportasi perkotaan yang semakin kompleks untuk kota-kota besar di Indonesia. Salah satu sarana transportasi tersebut adalah Kereta Rel Listrik atau lebih sering dikenal dengan KRL.

KRL adalah salah satu sarana transportasi yang sangat populer dikalangan pengguna kereta api di Indonesia. KRL Jabodetabek atau yang sekarang dikenal dengan nama PT Kereta Api Indonesia (KAI) Commuter

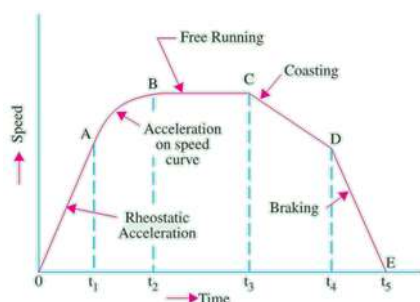
Jabodetabek adalah jalur Kereta Rel Listrik yang dioperasikan oleh PT KAI Divisi Jabodetabek sebelum berubah nama menjadi PT KAI Commuter Jabodetabek. KRL Jabodetabek telah beroperasi sejak tahun 1976, yang melayani rute komuter di wilayah Jakarta, Bogor, Depok, Tangerang, Bekasi, Serpong, dan Parungpanjang. KRL yang melayani jalur ini terdiri dari tiga kelas, yaitu kelas ekonomi, kelas ekonomi AC, dan kelas ekspres yang menggunakan pendingin udara. Jalur komuter Jabodetabek melewati beberapa stasiun besar seperti Jakarta Kota, Gambir, Gondangdia, Jatinegara, Pasar Senen, dan Manggarai.

Dengan padatnya jadwal perjalanan KRL Jabodetabek yang beroperasi setiap hari dari jam 06:00 sampai 23:00 dalam melayani kebutuhan transportasi penumpang Jabodetabek, sudah pasti akan mengkonsumsi energi listrik yang tidak sedikit untuk mengoperasikan KRL. Strategi pengemudian *acceleration* (percepatan), *coasting* (peluncuran), dan *braking* (pengereman) pada KRL merupakan factor penting yang mempengaruhi sedikit banyaknya konsumsi energy listrik yang dibutuhkan dalam satu perjalanan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaturan nilai *acceleration*, *coasting* dan *braking* menggunakan metode Algoritma Genetik dengan berpatokan pada dua kurva kecepatan - waktu, yaitu kurva Trapesoidal dan kurva Quadrilateral.

2. Metode

2.1 Kurva kecepatan - waktu^[1]

Tipikal kurva kecepatan - waktu untuk pelayanan perjalanan KRL selama beroperasi dapat dilihat pada gambar 2.1.



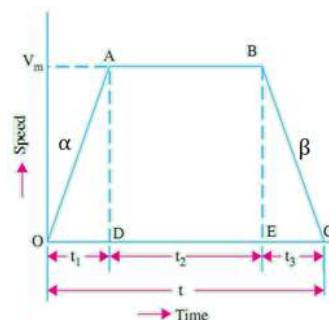
Gambar 2.1 Kurva kecepatan dan waktu

Kurva kecepatan - waktu gambar 2.1 dapat disederhanakan dengan tujuan untuk membentuk rumus matematika sederhana yang mempunyai hubungan antara *acceleration*, *reterdasi*, kecepatan rata-rata, jarak dll. Kurva kecepatan - waktu memiliki salah satu dari dua bentuk kurva, sebagai berikut:

- (i) Kurva bentuk *trapesoidal* dan
- (ii) Kurva bentuk *quadrilateral*.

2.1.1 Kurva kecepatan - waktu *Trapezoidal*

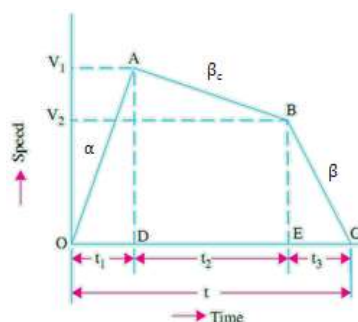
Kurva kecepatan - waktu *Trapezoidal* (gambar 2.2) merupakan kurva penyederhanaan gambar 2.1 dengan menghilangkan periode *coasting* kurva C - D.



Gambar 2.2 Kurva kecepatan dan waktu *Trapezoidal*

2.1.2 Kurva kecepatan - waktu *Quadrilateral*

Kurva kecepatan - waktu *Quadrilateral* (gambar 2.3) merupakan kurva penyederhanaan gambar 2.1 dengan menghilangkan periode *free-running* kurva B - C.



Gambar 2.3 Kurva kecepatan dan waktu *Quadrilateral*

2.2 Konsumsi Energi Listrik KRL

Langkah pertama dalam menghitung energi yang dikonsumsi oleh KRL dalam Wh/t/km adalah menghitung total energi keluaran yang digunakan untuk menggerakkan roda KRL dan kemudian membaginya dengan efisiensi pemakaian gir dan motor KRL, maka akan didapatkan nilai konsumsi energi listrik. Total energi keluaran selama pengemudian kereta digunakan untuk memberi percepatan kereta, mengatasi gradient lintasan dan mengatasi resistansi kereta^[1].

$$E = \frac{E_a + E_g + E_r}{\eta \times S} \quad (1)$$

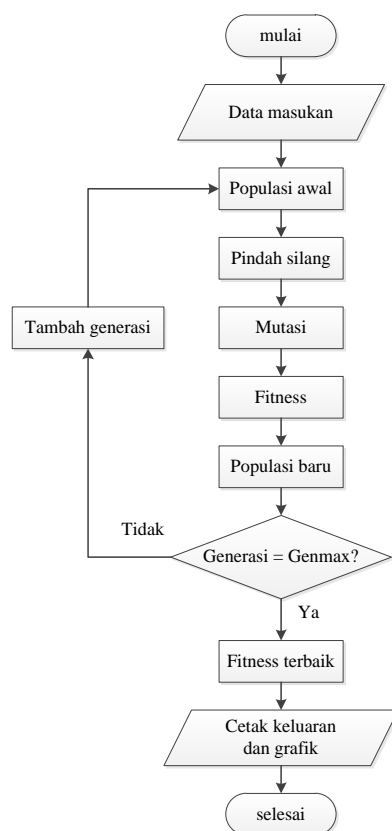
dimana

- E_a = energi yang diberikan untuk percepatan kereta
- E_g = energi untuk mengatasi gradient lintasan

- E_r = energi untuk mengatasi resistansi kereta
- m = massa KRL
- S = jarak lintasan
- η = efisiensi gird an motor

2.3 Metode Algoritma Genetik

Algoritma Genetik adalah salah satu pendekatan untuk menentukan global optimum yang didasari oleh Teori Darwin. Sesuai dengan namanya, Algoritma Genetik berusaha meniru seleksi yang dilakukan oleh alam terhadap makhluk hidup. Mekanisme proses Algoritma Genetik sederhana dijelaskan oleh gambar 2.4 sebagai berikut:



Gambar 2.4 Diagram alir pembuatan program dengan metode Algoritma Genetik

Secara garis besar langkah dalam prosedur ini dimulai dengan menetapkan suatu set solusi potensial dan melakukan perubahan dengan beberapa iterasi dengan Algoritma Genetik untuk mencapai solusi terbaik. Set solusi potensial yang ditetapkan diawal dan disebut dengan kromosom. Kromosom ini dibentuk secara random kemudian kromosom-kromosom tersebut akan berevolusi dalam beberapa tahap iterasi yang disebut dengan generasi. Generasi baru di generate dengan teknik kawin silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*). *Crossover* meliputi pemecahan dua kromosom dan kemudian mengkombinasikan setengah bagian dari

masing-masing kromosom dengan pasangan-pasangan lainnya. Sedangkan mutasi meliputi penggantian satu bagian dari kromosom dengan satu bagian lain dari kromosom lain yang menjadi pasangannya. Kromosom-kromosom ini selanjutnya berevolusi menjadi solusi terbaik (*fitness*) yang ditetapkan dan hasil terbaik akan dipilih sementara yang lainnya diabaikan. Selanjutnya, proses dilakukan berulang-ulang sampai dengan suatu kromosom yang mempunyai kesesuaian terbaik (*best fitness*) yang akan diambil sebagai solusi terbaik dari permasalahan.

2.3.1 Fungsi *Fitness*

Fungsi yang akan dioptimasi sering disebut fungsi obyektif, merupakan mekanisme evaluasi untuk masing-masing string. Hanya saja karena untuk setiap permasalahan berbeda, nilai parameter juga bervariasi, maka diperlukan suatu fungsi yang menormalisasi fungsi obyektif. Fungsi yang berguna untuk menormalisasi ruang solusi dari fungsi obyektif disebut sebagai fungsi *fitness*. Sedangkan nilai yang ternormalisasi dari fungsi obyektif tersebut disebut sebagai *fitness* dari string, dimana *fitness* ini nantinya digunakan sebagai evaluator setiap individu di dalam populasi.

Fungsi obyektif yang dipertimbangkan disini terdiri dari dua bagian, yaitu fungsi obyektif konsumsi energi listrik $\mu(E)$ dan fungsi obyektif waktu perjalanan $\mu(T_{run})$. Dalam rangka untuk mendapatkan fungsi obyektif $\mu(E)$ dan $\mu(T)$ maka digunakan pembobotan ($\omega_E + \omega_T = 1$) sebagai berikut [7]:

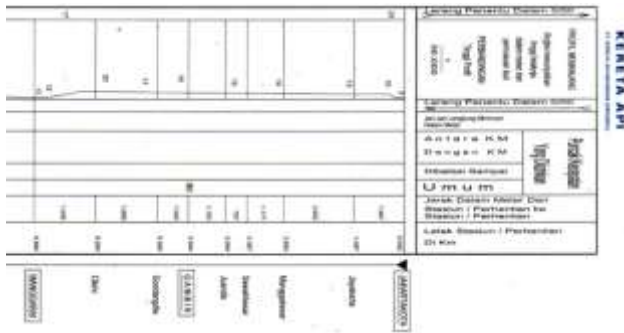
$$f(x) = \mu(E, T_{run}) = \%E \times \omega_E + \%T_{run} \times \omega_T \quad (2)$$

dimana

- $\%E$ = persentase perbandingan konsumsi energi listrik
- $\%T_{run}$ = persentase perbandingan waktu perjalanan
- ω_E = bobot konsumsi energi
- ω_T = bobot waktu perjalanan

2.4 Data Masukan

Pengambilan data *track*/lintasan kereta berdasarkan pada buku Grafik Perjalanan Kereta Api (GAPEKA) PT. KAI 2011 dengan rute Jakarta Kota - Manggarai^[8] menggunakan KRL seri Tokyo Metro seri 7000 kelas Commuter Line^[9]. Data yang diambil sebagai berikut :



Gambar 2.5 Kondisi lintasan Jakarta Kota - Manggarai

Tabel 2.1 Data GAPEKA PT. KAI 2011 rute Jakarta Kota – Manggarai

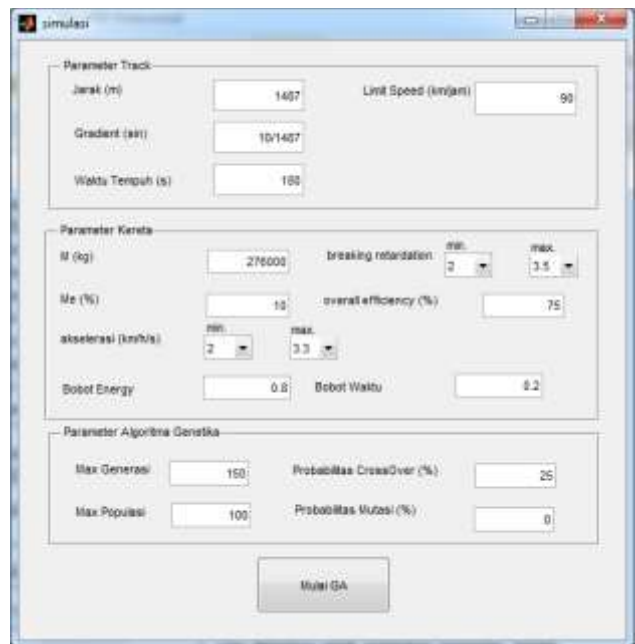
Stasiun Keberangkatan	Stasiun Persinggahan	Waktu Datang	Waktu Berangkat
Jakarta Kota	Jakarta Kota	18:05:00	18:05:00
Jakarta Kota	Jayakarta	18:08:00	18:08:00
Jakarta Kota	Mangga Besar	18:10:30	18:10:30
Jakarta Kota	Sawah Besar	18:13:30	18:13:30
Jakarta Kota	Juanda	18:15:00	18:15:00
Jakarta Kota	Gambir	18:17:00	18:17:00
Jakarta Kota	Gondangdia	18:19:00	18:19:00
Jakarta Kota	Cikini	18:22:30	18:22:30
Jakarta Kota	Manggarai	1826:00	1826:00

Tabel 2.2 Data Spesifikasi Tokyo Metro seri 7000

Spesifikasi Tokyo Metro seri 7000	
Beroperasi	2010 - sekarang
Pembuat	Kawasaki Heavy Industries, Nippon Sharyō, Tokyu Car Corporation
Dibuat	1974 - 1990
Formasi	10 kereta per rangkaian (operasional 8 kereta)
Jumlah armada	4 set
Kapasitas	1.136 penumpang (rata-rata)
Konstruksi gerbong	Aluminium alloy
Panjang gerbong	20.000 mm (20 m)
Lebar	2.800 mm (2,8 m)
Tinggi	4.145 mm (4,15 m)
Pintu	4 pintu di setiap sisi
Kecepatan maksimum	100 km/jam
Bobot	276 ton (rata-rata)
Akselerasi	3,3 km/jam/detik
Deselerasi	3,5 km/jam/detik (normal), 4,5 km/jam/detik (darurat)
Sistem traksi	Motor generator (MG)
Keluaran tenaga	2.400 kW (rata-rata)
Transmisi	Armature chopper controller
Sistem listrik	1.500 V DC
Metode koleksi terkini	Listrik Aliran Atas (LAA) dengan pantograf
Bogie	FS-388, FS-515 dengan pegas udara
Sistem pengereman	Pengereman elektropneumatik regeneratif
Sistem keselamatan	Tokyo Metro CS-ATC & ATO, Seibu ATS, Tobu ATS
Sepur	1.067 mm (3 ft 6 in)

3. Hasil dan Analisa

Setelah data-data diperoleh langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data. Pengolahan disini dilakukan dengan metode Algoritma Genetik. Berikut ini adalah tampilan simulasi dari metode Algoritma Genetik.



Gambar 3.1 Tampilan simulasi program

Pada tampilan gambar 3.1 terdapat panel-panel seperti panel ‘Parameter Track’, panel ‘Parameter Kereta’ dan panel ‘Parameter GA’. Selain itu juga terdapat tombol seperti tombol ‘Mulai GA’. Untuk panel ‘Parameter Track’ nilai-nilainya dipilih dan dimasukkan sesuai dengan data track GAPEKA 2011, sedangkan ‘Parameter Kereta’ dipilih dan dimasukkan sesuai kehendak sesuai dengan seri KRL yang dipilih, panel pembobotan dan panel ‘Parameter GA’ yang nilai-nilainya bisa dipilih dan dimasukkan sesuai kehendak pemakai dan nilai tersebut bisa dihapus sehingga bisa diisi dengan nilai yang lain.

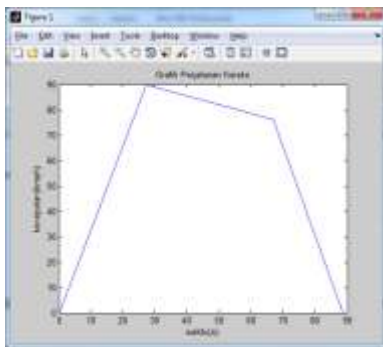
Selain data track dan lintasan kereta, juga dibutuhkan data variabel bobot konsumsi energi listrik dan bobot waktu tempuh dengan kombinasi parameter Algoritma Genetik seperti jumlah generasi, jumlah populasi, probabilitas crossover dan probabilitas mutasi sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data parameter algoritma genetic dengan variasi $\omega(E)$ dan $\omega(T)$

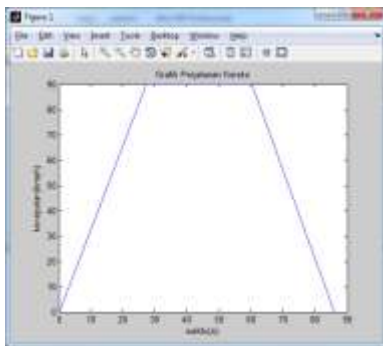
Pengujian	Jumlah Individu	Jumlah Generasi	Probabilitas pindah silang (%)	Probabilitas mutasi (%)	$\omega(E)$	$\omega(T)$
1	100	150	25	0	0,8	0,2
2	100	150	50	0	0,8	0,2
3	100	150	25	5	0,8	0,2
4	100	150	50	5	0,8	0,2
5	100	150	25	10	0,8	0,2
6	100	150	50	10	0,8	0,2
7	100	150	25	0	0,0	1,0
8	100	150	50	0	0,0	1,0
9	100	150	25	5	0,0	1,0
10	100	150	50	5	0,0	1,0
11	100	150	25	10	0,0	1,0

12	100	150	50	10	0,0	1,0
13	100	150	25	0	0,5	0,5
14	100	150	50	0	0,5	0,5
15	100	150	25	5	0,5	0,5
16	100	150	50	5	0,5	0,5
17	100	150	25	10	0,5	0,5
18	100	150	50	10	0,5	0,5

Setelah dilakukan pengujian sesuai dengan variasi Algoritma Genetik dan pembobotan pada tabel 3.1 bisa dihasilkan kurva kecepatan - waktu *Quadrilateral* dan *Trapezoidal*.



Gambar 3.2 Kurva kecepatan - waktu *Quadrilateral* generasi terbaik hasil pengujian 1



Gambar 3.3 Kurva kecepatan - waktu *Trapezoidal* generasi terbaik hasil pengujian 7

Dari 18 kali pengujian maka didapatkan rekapitulasinya sebagai berikut :

Tabel 3.2 Rekapitulasi hasil pengujian

Pengujian	ω_E	ω_T	E (kWh-tkm)	Time (s)	Acceleration	Coasting	Braking	Kurva	Score
1	0.8	0.2	93.319359	88.691664	0.916667	0.090074	0.972222	Quadrilateral	23.419901
2	0.8	0.2	93.319359	88.656280	0.916667	0.095118	0.972222	Quadrilateral	23.423833
3	0.8	0.2	93.319359	88.870813	0.916667	0.100835	0.972222	Quadrilateral	23.399989
4	0.8	0.2	93.319359	89.016885	0.916667	0.104607	0.972222	Quadrilateral	23.383765
5	0.8	0.2	93.319359	88.834683	0.916667	0.099987	0.972222	Quadrilateral	23.404010
6	0.8	0.2	93.319359	88.712963	0.916667	0.096648	0.972222	Quadrilateral	23.417334
7	0.0	1.0	111.884543	85.973506	0.916667	0.000000	0.972222	Trapezoidal	52.236941
8	0.0	1.0	111.884543	85.973506	0.916667	0.000000	0.972222	Trapezoidal	52.236941
9	0.0	1.0	111.884543	85.973506	0.916667	0.000000	0.972222	Trapezoidal	52.236941
10	0.0	1.0	111.884543	85.973506	0.916667	0.000000	0.972222	Trapezoidal	52.236941
11	0.0	1.0	111.884543	85.973506	0.916667	0.000000	0.972222	Trapezoidal	52.236941
12	0.0	1.0	111.884543	85.973506	0.916667	0.000000	0.972222	Trapezoidal	52.236941
13	0.3	0.3	93.319359	88.656280	0.916667	0.095118	0.972222	Quadrilateral	33.669837
14	0.3	0.3	93.319359	88.656280	0.916667	0.095118	0.972222	Quadrilateral	33.669837
15	0.3	0.3	93.319359	88.762875	0.916667	0.097983	0.972222	Quadrilateral	33.640227
16	0.3	0.3	93.319359	89.165488	0.916667	0.108347	0.972222	Quadrilateral	33.528390
17	0.3	0.3	93.319359	88.870935	0.916667	0.100836	0.972222	Quadrilateral	33.610211
18	0.3	0.3	93.319359	88.762875	0.916667	0.097983	0.972222	Quadrilateral	33.640227

Dari tabel 3.2 rekapitulasi hasil pengujian terlihat bahwa nilai pembobotan pada simulasi digunakan untuk masing-masing tujuan, yaitu untuk mencari nilai konsumsi energy listrik dan waktu tempuh yang di inginkan. Sebagai contoh pada pengujian 4 di setting untuk mencari nilai konsumsi energy listrik rendah sesuai dengan nilai pembobot $\omega_E = 0.8$ dan $\omega_T = 0.2$, maka dihasilkan nilai konsumsi energi listrik sebesar 93.319359 kWh/t-km dan waktu tempuh perjalanan 89.016885 s dengan nilai acceleration 0.916667 kmphps coasting 0.104607 kmphps dan braking 0.972222 kmphps. Sedangkan pada pengujian 7 di setting untuk mencari nilai waktu tempuh yang cepat sesuai dengan nilai pembobot $\omega_E = 0.0$ dan $\omega_T = 1.0$, maka dihasilkan nilai konsumsi energi listrik sebesar 111.884543 kWh/t-km dan waktu tempuh perjalanan 85.973506 s dengan nilai acceleration 0.916667 kmphps coasting 0.0 kmphps dan braking 0.972222 kmphps.

Nilai coasting pada hasil 18 kali pengujian sangat mempengaruhi nilai konsumsi energy listrik dan waktu tempuh perjalanan. Pada pengujian 4 semakin besar nilai coasting maka nilai konsumsi energy listriknya semakin rendah namun waktu tempuhnya semakin lama. Sedangkan pada pengujian 7 semakin kecil atau bernilai nol nilai coasting maka nilai konsumsi energy listriknya semakin besar namun waktu tempuhnya semakin cepat. Jika nilai konsumsi energy listrik pengujian 4 dibandingkan dengan pengujian 7 maka perbedaan besar konsumsi energy listriknya sebesar 16,59%.

Dari hasil penelitian, kurva tipe 1 *Quadrilateral* dan kurva tipe 2 *Trapezoidal* bias diaplikasikan untuk pengemudian KRL sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Pengemudian dengan kurva *Trapezoidal* cocok diaplikasikan untuk KRL yang membutuhkan waktu tempuh perjalanan cepat, sedangkan pengemudian dengan kurva *Quadrilateral* cocok diaplikasikan untuk KRL yang membutuhkan konsumsi energy listrik sedikit.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian bias diperoleh 2 macam tipe kurva kecepatan dan waktu yang berbeda, yaitu kurvatiipe 1 *Trapezoidal* dan kurvatiipe 2 *Quadrilateral*. Kedua kurva tersebut bias diaplikasikan untuk pengemudian KRL sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan. Untuk bias memperoleh kurva tipe 1 *Trapezoidal*, maka digunakan pembobotan dengan bobot $\omega_T > \omega_E$ dengan memprioritaskan waktu tempuh yang lebih cepat. Sedangkan untuk kurva tipe 2 *Quadrilateral* digunakan metode pembobotan dengan bobot $\omega_E > \omega_T$ dengan memprioritaskan konsumsi energi listrik yang lebih sedikit. Nilai *coasting* sangat mempengaruhi nilai konsumsi energi listrik dan waktu tempuh perjalanan, seperti pada pengujian 4 dengan nilai *coasting* sebesar 0.104607 km/h/s dan pengujian 7 sebesar 0 km/h/s (tanpa *coasting*). Pada pengujian 4 dengan kurvatiipe 2 *Quadrilateral* dengan mengkonsumsi energi listrik sebesar 93.319359 kW-t/km dengan waktu 89.016885 tempuh detik sedangkan pengujian 7 dengan kurva tipe 1 *Trapezoidal* mengkonsumsi energi listrik sebesar 111.884543 kW-t/km dengan waktu tempuh 85.973506 detik.

Sebagai masukan guna pengembangan lebih lanjut dari penelitian ini, maka memberikan beberapa saran. Metode ini dapat dikembangkan untuk tipe transportasi listrik lainnya, seperti tramways, monorail dan trolley bus. Untuk penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan metode lain (seperti: Fuzzy dan PSO).

Referensi

- [1]. "Grafik Perjalanan Kereta Api (GAPEKA) PT. KAI 2011", PT. KAI, 2011.
- [2]. A.T Dover, "Electric Traction: A Treatise on the Application of Electric Power to Tramway and Railways", The Macmillan company, 1917.
- [3]. BL Theraja, "A Text Book of Electrical Technology", S Chand.
- [4]. H Partab, "Modern Electric Traction", Dhanpat Rai & Sons, 1982.
- [5]. http://id.wikipedia.org/wiki/T%C5%8Dky%C5%8D_Metro_seri_7000
- [6]. <http://www.krl.co.id/Info-Jadwal-KA-Commuter.html>
- [7]. Jyh-Cherng JONG, En-Fu CHANG, "Model for Estimating Energy Consumption of Electric Train", Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 278 - 291, 2005.
- [8]. Piotr Lukaszewicz, "Energy Consumption and Running Time for Trains", Railway Technology Department of Vehicle Technology, 2001, Stockholm.
- [9]. Suyatno, "Algoritma Genetika dalam Matlab", Andi Offset, januari 2005, Yogyakarta.
- [10]. Y.V. Bocharnikov, A. M. Tobias, C. Roberts, "Reduction of Train and Net Energy Consumption using Genetic Algorithms for Trajectory Optimisation", Birmingham Centre for Railway Research and Education, University of Birmingham, Edgbaston, Birmingham.