

# ANALISIS KONSUMSI DAYA PADA GERBONG KERETA API PENUMPANG KELAS EKSEKUTIF, BISNIS, DAN EKONOMI (DI DEPO GERBONG KERETA API INDONESIA)

Muhammad Rizal Arfianto<sup>\*)</sup>, Tedjo Sukmadi, and Bambang Winardi

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

<sup>\*)</sup> Email : arfimuse@yahoo.co.id

## Abstrak

Kereta api merupakan alat transportasi massal yang umumnya terdiri dari lokomotif, rangkaian gerbong penumpang, dan gerbong pembangkit. PT.KAI memiliki kode penamaan di setiap gerbongnya, yaitu: K1 untuk gerbong penumpang kelas eksekutif, K2 untuk gerbong penumpang kelas bisnis, K3 untuk gerbong penumpang kelas ekonomi. Kelistrikan didalam gerbong penumpang disupply oleh gerbong pembangkit dengan kode penamaan, yaitu: KM untuk kelas eksekutif, KMP2 untuk kelas bisnis, dan KMP3 untuk kelas ekonomi. Penelitian dilakukan pada kereta rute Semarang-Jakarta, yaitu: KA Argo Muria kelas eksekutif, KA Fajar dan Senja Utama kelas bisnis, dan KA Tawang Jaya kelas ekonomi untuk mengetahui beban maksimum gerbong penumpang, beban puncak maksimum, beban rata-rata harian, dan faktor kapasitas pemakaian genset kereta pembangkit. Beban maksimum terhitung K1 Argo Muria adalah 141,37kW, K2 Fajar dan Senja Utama adalah 20,74kW, dan K3 Tawang Jaya adalah 9,7kW. Setelah dilakukan pengukuran, didapatkan beban maksimum terukur untuk K1 91,135kW, K2 7,71kW, dan K3 5,9kW. Beban rata-rata harian kelas eksekutif 54,49kW, kelas bisnis 3,96kW, dan kelas ekonomi 4,76kW. Kapasitas dan persentase konsumsi daya maksimum kereta terhadap gerbong pembangkit untuk KM 500kVA sebesar 29,8%, KMP2 150kVA sebesar 7,34%, dan KMP3 50kVA sebesar 18,75%.

*Kata kunci : konsumsi daya, faktor kapasitas, mesin diesel, gerbong penumpang, kapasitas generator, faktor daya*

## Abstract

The train is a mass transportation that in general consists of locomotives, of passenger cars, and plant car. PT.KAI naming a specified code for each car, i.e: K1 for executive, K2 for business, and K3 for economy class passenger car. Electricity is supplied by plant car with code KM for the executive, KMP2 for business, and KMP3 for economy class. The research was carried out in the train route Semarang-Jakarta, the executive for KA Argo Muria, the business for KA Fajar or Senja Utama, and the economy for KA Tawang Jaya the research was aimed to determine the maximum load of the passenger cars, the maximum peak load, average daily load, and capacity factor level of in the use of generator power trains. The maximum load calculated KA Argo Muria is 144.6 kW, for K2 Fajar or Senja Utama is 20.74 kW, and for K3 Tawang Jaya is 9.7 kW. After the measurement's were accomplished, the maximum load were obtained for K1 is 91,135kW, 7.71 kW for K2, and 5.9 kW for K3. The average daily load of the executive class is 54.49kW, the business class is 3,96kW, and the economy class is 4.76kW. Capacity and percentage of maximum power consumption of the utilities on the KM 500kVA is 29.8%, KMP2 150kVA is 7.34%, and KMP3 50kVA is 18.75%.

*Keywords : power consumption, capacity factor, diesel engines, passenger cars, the capacity of the generator, the power factor*

## 1. Pendahuluan

Persaingan antar moda transportasi yang semakin ketat, tentunya akan berpengaruh terhadap kualitas pelayanan yang diberikan kepada pelanggan pengguna jasa transportasi. Masing-masing perusahaan transportasi akan berlomba-lomba untuk memberikan pelayanan yang

terbaik untuk memperoleh pelanggan dan pangsa pasar yang lebih luas. Tingkat kepuasan pelanggan menjadi prioritas utama yang menjadi tolak ukur keberhasilan setiap perusahaan, tak terkecuali oleh PT. Kereta Api Indonesia.

Untuk kegiatan pemeliharaan dan perawatan sarana kereta biasanya dilakukan dengan jadwal bulanan, 3 bulanan,

dan semesteran. Hal ini tentunya harus ditopang dengan kualitas SDM yang berkompeten di bidangnya dan sistem pemeliharaan atau perawatan kereta gerbong yang terjadwal dengan baik, termasuk didalamnya meliputi pemeliharaan dan penanggulangan gangguan AC kereta, perawatan lampu-lampu beserta peralatan penunjang kenyamanan lainnya seperti TV LCD dan kipas angin, PT Kereta Api Indonesia membentuk Divisi Pemeliharaan Sarana, dalam hal ini adalah Dipo Kereta-Gerbong yang dimiliki oleh setiap Daerah Operasi ( DAOP ) yang tersebar di Jawa dan Sumatera.

Berdasarkan informasi yang didapat dari PT.KAI, persilangan lintasan trek jalur Semarang – Jakarta sampai saat ini hanya dapat dilalui untuk kereta api dengan maksimal jumlah rangkaian sebanyak 15 gerbong termasuk lokomotif, selain mempertimbangkan faktor panjang peron stasiun di sepanjang trayek itu. Tujuan dari penulisan tugas akhir ini ialah merujuk dari pembangunan infrastruktur PT.KAI, yaitu: pembangunan *double track* disepanjang lintas pantai utara sepanjang Jakarta - Surabaya, perpanjangan peron stasiun – stasiun besar, dan memperpanjang titik persilangan kereta api. Atas dasar kondisi diatas, maka tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah menganalisa konsumsi daya pada gerbong kereta api sehingga kelak gerbong kereta pembangkit dirangkai dengan gerbong penumpang dalam jumlah yang lebih maksimal. Hal ini akan sangat bermanfaat ketika terjadi lonjakan penumpang luar biasa.

Tujuan dari penelitian ini untuk melakukan penelitian dan penghitungan tentang total konsumsi daya yang harus ditanggung oleh gerbong kereta pembangkit, melakukan pengukuran beban harian di setiap kelas kereta, mengetahui faktor kapasitas konsumsi daya sesuai dengan jumlah beban yang ditanggung gerbong pembangkit.

## 2. Metode

Metode yang digunakan didalam penelitian ini meliputi: penghitungan tentang total konsumsi daya yang harus ditanggung oleh gerbong kereta pembangkit, penghitungan tentang kapasitas total daya yang disediakan dalam kereta pembangkit, melakukan pengukuran beban harian kereta, kelayakan penambahan jumlah kuota gerbong berdasarkan daya yang dikonsumsi disetiap kelas kereta, mengetahui faktor kapasitas genset terhadap konsumsi daya sesuai dengan jumlah beban yang ditanggung generator pembangkit, dan perbaikan faktor daya dengan pemasangan *capacitor bank*.

### 2.1 Total Maksimum Beban Terpasang

Daya adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan usaha. Dalam sistem tenaga listrik, daya merupakan jumlah energi yang digunakan untuk melakukan kerja atau usaha<sup>[2]</sup>. Daya listrik biasanya dinyatakan dalam

satuan *Watt* atau *Horsepower* (HP), *Horsepower* merupakan satuan daya listrik dimana 1 HP setara 746 *Watt* atau 1 *bft/second*<sup>[6]</sup>. Sedangkan *Watt* merupakan unit daya listrik dimana 1 *Watt* memiliki daya setara dengan daya yang dihasilkan oleh perkalian arus 1 *Ampere* dan tegangan 1 *Volt*. Daya dinyatakan dalam P, Tegangan dinyatakan dalam V dan Arus dinyatakan dalam I, sehingga besarnya daya dinyatakan<sup>[2]</sup> :

$$S = V \times I \quad (2.1)$$

$$P = Volt \times Ampere \times Cos \theta \quad (2.2)$$

Dimana:

$$P = \text{Daya (Watt)}$$

$$V = \text{Tegangan (Volt)}$$

$$I = \text{Arus (Ampere)}$$

$$Cos \theta = \text{Faktor Daya}$$

Kemudian dilakukan penghitungan total komponen beban didalam satu rangkaian kereta api kelas eksekutif, bisnis, dan ekonomi.

### 2.2 Kapasitas Generator Pembangkit

Dalam menentukan rating pengaman keluaran genset menurut PUIL 2000 pasal 5.6.1.2.3 yang berisi “Generator yang bekerja pada 65 V atau kurang dan dijalankan oleh motor tersendiri, dapat dianggap telah diproteksi oleh gawai proteksi arus lebih yang mengamankan motor, bila gawai proteksi ini bekerja kalau generator membangkitkan tidak lebih dari 150 persen dari arus pengenal pada beban penuhnya”.<sup>[4]</sup>

Arus lebih dari genset yang digunakan 150% sebagai faktor pengali dari arus nominal ( $I_n$ ) genset. Pengaman yang digunakan adalah MCCB karena MCCB memiliki rating arus yang besar dan dapat di-*setting* sesuai dengan kebutuhan. MCCB sebagai pengaman dari arus hubung singkat dan arus beban lebih. MCCB yang digunakan harus sesuai dengan rating tegangan genset, maka MCCB yang digunakan sesuai dengan rating tegangan genset adalah<sup>[8]</sup>:

$$I_n \text{ Genset} = \frac{\text{Daya Genset (kVA)}}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} \quad (2.3)$$

Sehingga,

$$I_{\text{Pengaman (MCCB)}} = 150\% \times I_n \text{ Genset} \quad (2.4)$$

### 2.3 Beban Harian Kereta

Gerbong pembangkit listrik dihubungkan dengan gerbong penumpang lainnya menggunakan *Junction Box*, memiliki 4 warna yaitu merah (R), kuning (S), biru (T), dan hitam (netral). *Junction Box* ini berjumlah 4 buah tiap gerbongnya berfungsi menyalurkan arus ke gerbong-gerbong kereta untuk menyalakan pendingin ruangan, TV,

stop kontak, *exhaust fan*, kipas angin, sistem penerangan, dan lampu semboyan.



Gambar 2.1 Junction Box K2

Pengukuran arus maksimum pada rangkaian kereta kelas eksekutif, bisnis, dan ekonomi ini dilakukan didalam gerbong pembangkit. Konfigurasi rangkaian KA Argo Muria kelas eksekutif memiliki 1 buah lokomotif, 7 buah gerbong K1, 1 buah KM, dan 1 buah BP.



Gambar 2.2 Konfigurasi Rangkaian Kelas Eksekutif

Rangkaian KA Fajar dan Senja Utama kelas bisnis memiliki 1 buah lokomotif, 8 buah gerbong K2, dan 1 buah KMP2.



Gambar 2.3 Konfigurasi Rangkaian Kelas Bisnis

Rangkaian KA Tawang Jaya kelas ekonomi memiliki 1 buah lokomotif, 10 buah gerbong K3, dan 1 buah KMP3.



Gambar 2.4 Konfigurasi Rangkaian Kelas Ekonomi

Beban harian kereta api adalah rata-rata beban yang tanggung oleh generator pembangkit dalam satu hari (24 jam). Arus terukur didapatkan dari *display* arus genset kereta pembangkit dan kemudian dicatat setiap jam selama kereta melakukan perjalanan. Genset BP untuk kelas eksekutif yang berada pada gerbong KM, genset kelas bisnis berada pada gerbong KMP2, dan genset kelas ekonomi berada pada gerbong KMP3.

## 2.4 Kuota Maksimum Gerbong

Secara empiris, jumlah gerbong maksimum yang dapat display oleh gerbong pembangkit berdasarkan data arus nominal genset dan arus maksimum beban setiap gerbong dapat dihitung:

$$N = \frac{I_n - I_{max\ KM}}{I_{max\ K}} \quad (2.5)$$

Dimana:

$I_n$  = Arus nominal genset

$I_{max\ KM}$  = Arus maksimum satu buah gerbong restorasi

$I_{max\ K}$  = Arus maksimum satu buah gerbong penumpang

Arus nominal ( $I_n$ ) adalah arus maksimum dari kapasitas genset yang digunakan pada gerbong pembangkit. Untuk KA Argo Muria kelas eksekutif menggunakan genset dengan kapasitas 500kVA, KA Fajar dan Senja Utama kelas bisnis menggunakan genset dengan kapasitas 150kVA, dan KA Tawang Jaya kelas ekonomi menggunakan genset dengan kapasitas 50kVA<sup>[11]</sup>.

Arus maksimum gerbong restorasi ( $I_{max\ KM}$ ) adalah arus maksimum terhitung dari satu buah gerbong restorasi. Gerbong restorasi kelas eksekutif memiliki kode gerbong KM, sedangkan untuk kelas bisnis dan ekonomi dengan kode KMP<sup>[12]</sup>.

Arus maksimum gerbong penumpang ( $I_{max\ K}$ ) adalah arus maksimum terhitung dari keseluruhan komponen beban didalam satu buah gerbong penumpang. Untuk kelas eksekutif dengan kode K1, kelas bisnis K2, dan kelas ekonomi K3<sup>[12]</sup>.

## 2.5 Faktor Kapasitas Generator

Faktor kapasitas atau faktor kegunaan didefinisikan sebagai perbandingan antara energi total yang diproduksi dalam satu periode dengan energi yang akan diproduksi jika pembangkit telah dioperasikan secara kontinyu pada rating maksimumnya. Besarnya faktor kapasitas atau faktor kegunaan dirumuskan sebagai berikut<sup>[8]</sup>:

$$F_{capacity} = \frac{\text{Beban rata-rata}}{\text{Kapasitas maksimum}} \quad (2.6)$$

## 2.6 Faktor Daya

Pemakaian energi listrik dengan faktor daya rendah memiliki kerugian karena dengan nilai daya reaktif (Q) yang cukup besar menyebabkan kebutuhan daya semu (S) yang lebih besar untuk mencukupi kebutuhan daya aktif (P). Dengan kata lain untuk mencukupi kebutuhan daya aktif yang sama, dibutuhkan penyediaan daya (S) yang lebih besar. Untuk mengurangi kerugian tersebut maka diperlukan adanya perbaikan faktor daya hingga mendekati nilai idealnya yaitu faktor daya = 1, biasanya diperbaiki hingga mencapai 0,95-0,98.<sup>[6]</sup>

Dalam penulisan tugas akhir ini dikehendaki perbaikan faktor daya sesudah dipasang kapasitor adalah 0,98, maka diperlukan perhitungan sebagai berikut<sup>[10]</sup>:

$$Q_1 = P \cdot \tan \theta_1 \quad (2.7)$$

$$Q_2 = P \cdot \tan \theta \quad (2.8)$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2 \quad (2.9)$$

$$X_c = \frac{V^2}{Q_c} \quad (2.10)$$

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_c} \quad (2.11)$$

Keterangan:

- Q<sub>1</sub> = Daya reaktif sebelum dipasang kapasitor
- Q<sub>2</sub> = Daya reaktif sesudah dipasang kapasitor
- Q<sub>c</sub> = Daya keluaran dari kapasitor.
- θ<sub>1</sub> = Sudut fasa semula
- θ<sub>2</sub> = Sudut yang dikehendaki (cos<sup>-1</sup>0,98=11,48°)
- P = Daya aktif
- X<sub>c</sub> = Reaktansi kapasitif
- C = Besar kapasitor yang akan dipasang

### 3. Hasil dan Analisis

#### 3.1 Perhitungan Total Beban Maksimum

##### 3.1.1 Kebutuhan Maksimum Gerbong K1

Komponen beban didalam satu buah gerbong kelas eksekutif meliputi: lampu TL, lampu bagasi, lampu baca, *exhaust fan*, AC, televisi atau LCD, lampu semboyan, dan stop kontak. Total kebutuhan maksimum satu buah gerbong eksekutif dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Kebutuhan Maksimum KA1 Argo Muria

Beban	Teg Volt	PF <i>cosφ</i>	Jumlah Beban	Daya Watt	Daya Total		Arus Amper
					W	VA	
Lampu TL 20W	220	0,42	30 unit	20	600	1428,57	6,493
Lampu Bagasi	220	0,42	28 unit	40	392	933,33	4,242
Lampu Baca	220	0,8	50 unit	45	150	187,5	0,852
<i>Exhaust Fan</i>	220	0,8	2 unit	18	36	45	0,204
AC	380	0,6	2 unit	7150	14300	23830	36,205
Televisi/LCD	220	0,75	2 unit	100	200	266,66	1,212
Lampu Semboyan	220	1	10 unit	14	140	140	0,636
Stop Kontak	220	0,8	50 unit		2112	2640	12
<b>Total Terpasang</b>					<b>17930</b>	<b>29471,1</b>	<b>61,844</b>

Kebutuhan maksimum dari keseluruhan komponen beban terpasang disatu gerbong kelas eksekutif 17,93kW, 29,471kVA, dan 61,844A.

##### 3.1.2 Kebutuhan Maksimum Gerbong K2

Komponen beban didalam satu buah gerbong kelas bisnis meliputi: lampu TL 20W dan 40W, *exhaust fan*, *ceiling fan*, lampu semboyan, dan stop kontak. Total kebutuhan maksimum satu buah gerbong eksekutif dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Kebutuhan Maksimum KA2 Fajar dan Senja Utama

Beban	Teg Volt	PF <i>cosφ</i>	Jumlah Beban	Daya Watt	Daya Total		Arus Amper
					W	VA	
Lampu TL 20W	220	0,42	4 unit	20	80	190,47	0,865
Lampu TL 40W	220	0,42	9 unit	40	360	857,14	3,896
<i>Ceiling Fan</i>	220	0,8	8 unit	45	360	450	2,045
<i>Exhaust Fan</i>	220	0,8	6 unit	18	108	135	0,613
Lampu Semboyan	220	1	10 unit	14	140	140	0,636
Stop Kontak	220	0,8	32 unit		140	1760	8
<b>Total Terpasang</b>					<b>245</b>	<b>3532,6</b>	<b>16,055</b>
					<b>6</b>	<b>1</b>	

Kebutuhan maksimum dari keseluruhan komponen beban terpasang disatu gerbong kelas bisnis 2,45kW, 3,532kVA, dan 16,055A.

##### 3.1.3 Kebutuhan Maksimum Gerbong K3

Komponen beban didalam satu buah gerbong kelas ekonomi meliputi: lampu TL 20W dan 40W, *box fan*, *exhaust fan*, dan lampu semboyan. Total kebutuhan maksimum satu buah gerbong ekonomi dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Kebutuhan Maksimum KA3 Tawang Jaya

Beban	Teg Volt	PF <i>cosφ</i>	Jumlah Beban	Daya Watt	Daya Total		Arus Amper
					W	VA	
Lampu TL 20W	220	0,42	4 unit	20	80	190,47	0,865
Lampu TL 40W	220	0,42	5 unit	40	200	476,19	2,164
<i>Box Fan</i>	220	0,8	8 unit	41	328	410	1,863
<i>Exhaust Fan</i>	220	0,8	6 unit	18	108	135	0,613
Lampu Semboyan	220	1	10 unit	14	140	140	0,636
<b>Total Terpasang</b>					<b>856</b>	<b>1351,6</b>	<b>6,141</b>

Kebutuhan maksimum dari keseluruhan komponen beban terpasang disatu gerbong kelas ekonomi 0,856kW, 1,351kVA, dan 6,141A.

##### 3.1.4 Kebutuhan Maksimum Gerbong KM

Komponen beban didalam satu buah gerbong restorasi kelas eksekutif meliputi: lampu TL 20W dan 40W, *exhaust fan*, LCD, AC, dispenser, kulkas, dan lampu semboyan. Total kebutuhan maksimum satu buah gerbong eksekutif dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Kebutuhan Maksimum KM

Beban	Teg Volt	PF <i>cosφ</i>	Jumlah Beban	Daya Watt	Daya Total		Arus Amper
					W	VA	
Lampu TL 20W	220	0,42	3 unit	20	60	142,85	0,649
Lampu TL 40W	220	0,42	11 unit	40	440	1047,62	4,761
Televisi/LCD	220	0,75	1 unit	100	100	133,33	0,606
Dispenser	220	0,6	2 unit	250	500	833,33	3,787
Kulkas	220	0,87	2 unit	115	230	264,36	1,201
<i>Exhaust Fan</i>	220	0,8	5 unit	18	90	112,5	0,511
AC	380	0,6	2 unit	7150	14300	23830	36,205
Lampu Semboyan	220	1	10 unit	14	140	140	0,636
<b>Total Terpasang</b>					<b>15860</b>	<b>26504</b>	<b>48,356</b>

Kebutuhan maksimum dari keseluruhan komponen beban terpasang disatu gerbong restorasi kelas eksekutif 15,86kW, 26,504kVA, dan 48,356A.

##### 3.1.5 Kebutuhan Maksimum Gerbong KMP

Komponen beban didalam satu buah gerbong restorasi kelas bisnis dan ekonomi meliputi: lampu TL 20W, *exhaust fan*, *box fan*, dan lampu semboyan. Total kebutuhan maksimum satu buah gerbong eksekutif dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

Tabel 3.5 Kebutuhan Maksimum KMP

Beban	Teg Volt	PF <i>cosφ</i>	Jumlah Beban	Daya Watt	Daya Total		Arus Amper
					W	VA	
Lampu TL 20W	220	0,42	15 unit	20	300	714,28	3,246
Kulkas	220	0,87	1 unit	115	115	132,18	0,6
Dispenser	220	0,6	1 unit	250	250	416,66	1,893
<i>Exhaust Fan</i>	220	0,8	5 unit	18	90	112,5	0,511
<i>Box Fan</i>	220	0,8	6 unit	41	246	307,5	1,397
Lampu Semboyan	220	1	10 unit	14	140	140	0,636
<b>Total Terpasang</b>					<b>1141</b>	<b>1823,12</b>	<b>8,283</b>

Kebutuhan maksimum dari keseluruhan komponen beban terpasang disatu gerbong restorasi kelas bisnis dan ekonomi adalah 1,141kW, 1,823kVA, dan 8,283A.

**3.2 Kapasitas Genset Pembangkit**

**3.2.1 Genset BP 500KVA (Mercedes Benz OM444LA)**

Genset KA Argo Muria kelas eksekutif seri Mercedes Benz OM444LA dengan kapasitas 500kVA, memiliki arus nominal:

$$I_n \text{ Genset} = \frac{\text{Daya Genset (kVA)}}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V}} = 0,75968 \text{ kA} = 759,68 \text{ A}$$

Arus nominal generator pembangkit kelas eksekutif adalah sebesar 759,68A.

**3.2.2 Genset KMP2 150KVA (DeutzDWL120)**

Genset KA Fajar dan Senja Utama kelas bisnis seri Deutz DWL120 dengan kapasitas 150kVA, memiliki arus nominal:

$$I_n \text{ Genset} = \frac{\text{Daya Genset (kVA)}}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{150 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V}} = 0,2279 \text{ kA} = 227,9 \text{ A}$$

Arus nominal generator pembangkit kelas bisnis adalah sebesar 227,9A.

**3.2.3 Genset KMP3 50KVA (Yanmar 4TNV106-GGE)**

Genset KA Tawang Jaya kelas ekonomi seri Yanmar 4TNV106-GGE dengan kapasitas 50kVA, memiliki arus nominal:

$$I_n \text{ Genset} = \frac{\text{Daya Genset (kVA)}}{\sqrt{3} \times V_{L-L}} = \frac{50 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 380 \text{ V}} = 0,7596 \text{ kA} = 75,96 \text{ A}$$

Arus nominal generator pembangkit kelas ekonomi adalah sebesar 75,96A.

**3.3 Beban Harian Kereta Api**

**3.3.1 Kelas Eksekutif KA Argo Muria**

Pengambilan data dilakukan pada gerbong pembangkit kereta api Argo Muria jurusan Jakarta-Semarang PP dalam rentang waktu 8-12 September 2012. Selain pengukuran arus keluaran generator, juga dilakukan pengamatan frekuensi dan tegangan keluaran dari generator pembangkit listrik dengan tegangan keluaran generator bersifat konstan di 380V dengan frekuensi 50Hz.

**Tabel 3.6 Total Beban Terukur yang disuplai oleh BP**

Argo Muria JKT-SMG (07.30-14.30), SMG-JKT (16.00-23.00)							
Jam	Arus terukur (Ampere) per tanggal					Rata-rata/jam (Ampere)	Beban (KW)
	8/9/12	9/9/12	10/9/12	11/9/12	12/9/12		

01.00	2	2	2	2	2	2	0,802
02.00	0	0	0	0	0	0	0
03.00	0	0	0	0	0	0	0
04.00	0	0	0	0	0	0	0
05.00	0	0	0	0	0	0	0
06.00	0	0	0	0	0	0	0
07.00	193	193	191	190	191	191,6	76,923
08.00	190	193	192	192	191	191,6	76,923
09.00	191	192	192	191	192	191,6	76,923
10.00	192	193	191	191	190	191,4	76,842
11.00	192	192	191	192	190	191,4	76,842
12.00	193	191	193	191	191	191,8	77,003
13.00	191	192	192	190	190	191	76,682
14.00	189	189	189	189	189	189	75,879
15.00	0	0	0	0	0	0	0
16.00	190	191	190	190	192	190,6	76,521
17.00	214	198	190	191	193	197,2	79,171
18.00	223	221	222	223	221	222	89,128
19.00	225	225	227	225	221	224,6	90,171
20.00	224	227	223	226	223	224,6	90,171
21.00	226	215	221	224	227	222,6	89,368
22.00	222	216	222	220	223	220,6	88,565
23.00	225	214	224	221	220	220,8	88,646
24.00	3	3	3	3	3	3	1,204
Arus terbesar	226	227	227	226	227		
Beban Puncak KW	90,733	91,135	91,135	90,733	91,135		
Rata-rata arus dan beban setiap hari							135,725 54,490

Setelah dilakukan pengukuran, maka dapat dibuat kurva beban harian seperti pada Gambar 3.1 berikut ini.



**Gambar 3.1 Kurva Beban Harian Gerbong BP**

**3.3.2 Kelas Bisnis KA Fajar & Senja Utama**

Pengambilan data dilakukan pada gerbong KMP2 kereta api Fajar dan Senja Utama jurusan Semarang-Jakarta PP dalam rentang waktu 15-19 September 2012.

**Tabel 3.7 Total Beban Terukur yang disuplai oleh KMP2**

Fajar Utama/Senja Utama: SMG-JKT (08.00-15.40), JKT-SMG (19.20-04.00)							
Jam	Arus terukur (Ampere) per tanggal					Rata-rata/jam (A)	Beban (KW)
	15/9/12	16/9/12	17/9/12	18/9/12	19/9/12		
01.00	0	14,2	14,35	14,45	14,6	11,52	5,231
02.00	0	14,85	14,7	15,25	14,58	11,876	5,393
03.00	0	14,45	14,45	14,45	14,45	11,56	5,249
04.00	0	4,8	4,8	4,8	4,8	3,84	1,743
05.00	0	0	0	0	0	0	0
06.00	0	0	0	0	0	0	0
07.00	0	0	0	0	0	0	0
08.00	9,12	9,12	9,12	9,12	9,12	9,12	4,141
09.00	9,24	9,35	9,23	9,14	9,2	9,232	4,192
10.00	10,03	9,32	9,56	9,25	9,24	9,48	4,305
11.00	9,42	9,2	9,88	9,25	9,18	9,386	4,262
12.00	9,47	9,47	9,73	9,3	9,45	9,484	4,306
13.00	9,5	10,04	9,58	9,75	9,64	9,702	4,405
14.00	9,15	9,87	9,34	10,02	10,03	9,682	4,396
15.00	9,26	9,57	9,22	9,24	9,36	9,33	4,237
16.00	0	0	0	0	0	0	0
17.00	0	0	0	0	0	0	0
18.00	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	2,179
19.00	14,45	14,45	14,45	14,45	14,45	14,45	6,562
20.00	14,7	14,58	14,5	15,6	14,7	14,816	6,728
21.00	15,2	14,5	15,44	15,23	15,5	15,174	6,89
22.00	15,26	15,4	15,75	14,4	14,75	15,112	6,862
23.00	16,5	16,75	16,42	16,48	16,5	16,53	7,506
24.00	14,4	14,5	14,5	14,4	14,5	14,46	6,566
Arus terbesar	16,5	16,75	16,42	16,48	16,5		
Beban Puncak KW	7,493	7,606	7,456	7,484	7,493		
Rata-rata arus dan beban setiap hari							8,731 3,965

Setelah dilakukan pengukuran, maka dapat dibuat kurva beban harian seperti pada Gambar 3.2 berikut ini.



Gambar 3.2 Kurva Beban Harian Gerbong KMP2

### 3.3.3 Kelas Ekonomi KA Tawang Jaya

KA Tawang Jaya memiliki jam operasi untuk jurusan Semarang-Jakarta dengan jadwal keberangkatan 19.00 dan jadwal kedatangan sekitar pukul 03.30 WIB. Pengambilan data dilakukan pada gerbong kereta makan dan pembangkit kelas ekonomi untuk mengetahui arus keluaran genset dalam rentang waktu 22-26 September 2012.

Tabel 3.8 Total Beban Terukur yang disuplai oleh KMP3

Tawang Jaya SMG-JKT (19.00-03.30)							
Jam	Arus terukur (Ampere) per tanggal					Rata-rata/jam (A)	Beban (KW)
	22/9/12	23/9/12	24/9/12	25/9/12	26/9/12		
17.00	0	0	0	0	0	0	0
18.00	14,15	14,15	14,15	14,15	14,15	14,15	5,867
19.00	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25	5,908
20.00	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	5,887
21.00	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	5,887
22.00	14,2	14,25	14,25	14,2	14,2	14,22	5,896
23.00	14,25	14,2	14,2	14,25	14,25	14,23	5,900
24.00	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	5,887
01.00	14,2	14,25	14,2	14,2	14,2	14,21	5,892
02.00	14,25	14,2	14,2	14,2	14,5	14,27	5,916
03.00	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	5,887
04.00	2,5	2,5	14,2	14,2	2,5	7,18	2,977
05.00	0	0	0	0	0	0	0
Arus terbesar	14,25	14,25	14,25	14,25	14,25		
Beban Puncak KW	5,908	5,908	5,908	5,908	5,908		
Rata-rata arus dan beban setiap hari						11,485	4,762

Setelah dilakukan pengukuran, maka dapat dibuat kurva beban harian seperti pada Gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3 Kurva Beban Harian Gerbong KMP3

## 3.4 Jumlah Maksimum Gerbong

### 3.4.1 Jumlah Gerbong Eksekutif

KA Argo Muria jurusan Jakarta - Semarang PP dengan jadwal keberangkatan jam 07.30 untuk trayek JKT-SMG dan jam 16.00 untuk trayek SMG-JKT ini memiliki jumlah rangkaian normal sebanyak 9 buah gerbong.

Rangkaian tersebut terdiri dari 7 buah gerbong kereta penumpang, 1 buah gerbong kereta makan atau restorasi, dan 1 buah gerbong bagasi pembangkit. Total beban terpasang atau terhubung didalam satu rangkaian KA Argo Muria adalah:

$$P_{total} = (\text{jumlah gerbong} \times \text{total daya K1}) + \text{total daya KM} = (7 \times 17,93\text{kW}) + 15,86\text{kW} = 141,37\text{kW}$$

$$S_{total} = (7 \times 29,47\text{kVA}) + 26,5\text{kVA} = 232,79\text{kVA}$$

$$I_{total} = (7 \times 61,84 \text{ A}) + 48,35 \text{ A} = 481,23 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{141,37}{232,79} = 0,61$$

Maka jumlah maksimum gerbong penumpang yang masih bisa disuplay oleh gerbong pembangkit adalah:

$$N = \frac{I_n - I_{max} KM}{I_{max} K1} = \frac{759,68 - 48,35}{61,84} = 11,5$$

Berdasarkan perhitungan rumus (2.5), jumlah maksimum gerbong penumpang yang masih bisa disuplay oleh gerbong pembangkit kelas eksekutif adalah sebanyak 11,5 gerbong, dibulatkan menjadi 11 gerbong penumpang.

### 3.4.2 Jumlah Gerbong Bisnis

KA Fajar dan Senja Utama kelas bisnis jurusan Semarang - Jakarta PP dengan jadwal keberangkatan jam 08.00 dengan nama Fajar Utama untuk trayek SMG-JKT dan jam 19.20 dengan nama Senja Utama untuk trayek JKT-SMG ini memiliki jumlah rangkaian normal sebanyak 9 buah gerbong. Rangkaian tersebut terdiri dari 8 buah gerbong kereta penumpang dan 1 buah gerbong kereta makan atau restorasi pembangkit. Total beban terpasang atau terhubung didalam satu rangkaian KA Fajar dan Senja Utama adalah:

$$P_{total} = (\text{jumlah gerbong} \times \text{total daya K2}) + \text{total daya KMP2}$$

$$= (8 \times 2,45\text{kW}) + 1,14\text{kW} = 20,74\text{kW}$$

$$S_{total} = (8 \times 3,53\text{kVA}) + 1,823\text{kVA} = 30,06\text{kVA}$$

$$I_{total} = (8 \times 16,05 \text{ A}) + 8,283 \text{ A} = 136,683 \text{ A}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{20,74}{30,06} = 0,69$$

Jumlah gerbong maksimum yang masih bisa disuplay oleh generator pembangkit kelas bisnis dengan arus nominal beban genset KMP2 sebesar 227,9 A, arus maksimum satu buah gerbong restorasi (KMP2) sebesar 8,283 A, dan arus maksimum satu buah gerbong penumpang kelas bisnis adalah 16,05 A. Sehingga dapat dihitung:

$$N = \frac{I_n - I_{max} KMP2}{I_{max} K2} = \frac{227,9 - 8,283}{16,05} = 13,68$$

Jumlah maksimum gerbong penumpang yang masih bisa disuplay oleh gerbong pembangkit kelas bisnis adalah



sebanyak 13,68 gerbong, dibulatkan menjadi 13 gerbong penumpang.

### 3.4.3 Jumlah Gerbong Ekonomi

KA Tawang Jaya kelas ekonomi jurusan Semarang-Jakarta dengan jadwal keberangkatan jam 19.00 ini memiliki jumlah rangkaian normal sebanyak 11 buah gerbong. Rangkaian tersebut terdiri dari 10 buah gerbong kereta penumpang dan 1 buah gerbong kereta makan atau restorasi pembangkit. Total beban terpasang atau terhubung didalam satu rangkaian KA Fajar dan Senja Utama adalah:

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= (\text{jumlah gerbong} \times \text{total daya K3}) + \text{total daya KMP3} \\
 &= (10 \times 856W) + 1141W = 9,701kW \\
 S_{total} &= (10 \times 1351,66 VA) + 1823,12VA = 15,323 kVA \\
 I_{total} &= (10 \times 6,14 A) + 3,283 A = 69,683 A \\
 \cos \varphi &= \frac{P}{S} = \frac{9,701}{15,323} = 0,63
 \end{aligned}$$

Jumlah gerbong maksimum yang masih bisa disuplay oleh generator pembangkit kelas ekonomi dengan arus nominal beban genset KMP3 sebesar 75,96 A, arus maksimum satu buah gerbong restorasi (KMP3) 8,283 A, dan arus maksimum satu buah gerbong penumpang kelas ekonomi adalah 6,14 A. Sehingga dapat dihitung:

$$N = \frac{I_n - I_{max} KMP3}{I_{max} K3} = \frac{75,96 - 8,283}{6,14} = 11,02$$

Jumlah maksimum gerbong penumpang yang masih bisa disuplay oleh gerbong pembangkit kelas ekonomi adalah sebanyak 11,02 gerbong, dibulatkan menjadi 11 gerbong penumpang.

## 3.5 Faktor Kapasitas Genset Pembangkit

### 3.5.1 Faktor Kapasitas Genset BP

Beban terukur rata-rata harian 54,49kW, arus maksimum sebesar 227A, dan arus terukur rata-rata harian 135,725A. Genset beroperasi selama 18 jam per hari, dengan arus rata-rata 181,411A.

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I \\
 &= \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 181,411 = 119,397 kVA
 \end{aligned}$$

Faktor kapasitas genset BP 500kVA dengan beban rata-rata sebesar 119,397kVA:

$$F_{capacity} = \frac{\text{Beban rata-rata}}{\text{Kapasitas maksimum}} = \frac{119,397 kVA}{500 kVA} = 0,24$$

### 3.5.2 Faktor Kapasitas Genset KMP2

Beban terukur rata-rata harian 4,022kW, arus terukur maksimum sebesar 1,75A, dan arus terukur rata-rata harian 8,731A. Genset beroperasi selama 19 jam per hari, dengan arus rata-rata 11,029A.

$$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_n$$

$$= \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 11,029 = 7,528kVA$$

Faktor kapasitas genset KMP2 150kVA dengan beban rata-rata sebesar 7,528kVA:

$$F_{capacity} = \frac{\text{Beban rata-rata}}{\text{Kapasitas maksimum}} = \frac{7,528 kVA}{150 kVA} = 0,05$$

### 3.5.3 Faktor Kapasitas Genset KMP3

Beban terukur rata-rata harian 4,762KW, arus terukur maksimum sebesar 14,25A, dan arus terukur rata-rata harian 11,485A. Genset beroperasi selama 11 jam per hari, dengan arus rata-rata 13,537A.

$$\begin{aligned}
 S &= \sqrt{3} \cdot V \cdot I_n \\
 &= \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 13,537 = 8,933kVA
 \end{aligned}$$

Faktor kapasitas genset KMP3 50kVA dengan beban rata-rata sebesar 13,537A:

$$F_{capacity} = \frac{\text{Beban rata-rata}}{\text{Kapasitas maksimum}} = \frac{8,933 kVA}{50 kVA} = 0,18$$

## 3.6 Perbaikan Faktor Daya

Faktor daya total disetiap jenis kelas kereta penumpang didapatkan 0,61 untuk kelas eksekutif, 0,69 untuk kelas bisnis, dan 0,63 untuk kelas ekonomi. Untuk perhitungan digunakan:

$$\begin{aligned}
 \theta K1 &= \cos^{-1} 0,61 = 52,41 \dots\dots\dots(4.1) \\
 \theta K2 &= \cos^{-1} 0,69 = 46,36 \\
 \theta K3 &= \cos^{-1} 0,63 = 50,94
 \end{aligned}$$

### 3.6.1 Kelas Eksekutif (K1)

Beban maksimum kelas eksekutif adalah 91,135 kW

$$Q_1 = 91,135 kW \times \tan 52,41^\circ = 118,383 kVar$$

$$Q_2 = 91,135 kW \times \tan 11,48^\circ = 18,508 kVar$$

$$Q_c = 118,383 - 18,508 = 99,875 kVar$$

$$X_c = \frac{380^2}{99,875 \times 10^3} = 1,445 \text{ ohm}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 1,445} = 2203,9 \mu F$$

### 3.6.2 Kelas Bisnis (K2)

Beban maksimum kelas eksekutif adalah 7,606 kW

$$Q_1 = 7,606 kW \times \tan 46,36^\circ = 7,975 kVar$$

$$Q_2 = 7,606 kW \times \tan 11,48^\circ = 1,544 kVar$$

$$Q_c = 7,975 - 1,544 = 6,431 kVar$$

$$X_c = \frac{380^2}{6,431 \times 10^3} = 22,45 \text{ ohm}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 22,45} = 141,86 \mu F$$

### 3.6.3 Kelas Ekonomi (K3)

Beban maksimum kelas eksekutif adalah 5,9 kW

$$Q_1 = 5,9 kW \times \tan 50,94^\circ = 7,27 kVar$$

$$Q_2 = 5,9 \text{ kW} \times \tan 11,48^\circ = 1,198 \text{ kVar}$$

$$Q_c = 7,27 - 1,198 = 6,072 \text{ kVar}$$

$$X_c = \frac{380^2}{6,072 \times 10^3} = 23,78 \text{ ohm}$$

$$C = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 50 \times 23,78} = 133,92 \text{ } \mu\text{F}$$

Agar lebih mudah dalam membandingkan daya reaktif semula dan daya reaktif setelah faktor daya dijadikan 0,98 serta besar kapasitor yang harus dipasang, maka berikut ini akan disajikan dalam bentuk tabel 4.9 dibawah ini.

**Tabel 3.9 Perbandingan Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Dipasang Kapasitor**

Kelas Kereta	Q <sub>1</sub> kVAr	Q <sub>2</sub> kVar	Q <sub>c</sub> kVAr	Cos θ <sub>1</sub>	Cos θ <sub>2</sub>	C μF
Eksekutif	118,383	15,508	99,875	0,61	0,98	2203,9
Bisnis	7,606	1,544	6,431	0,69	0,98	141,86
Ekonomi	7,27	1,198	6,072	0,63	0,98	133,92

KA Argo Muria kelas eksekutif setelah faktor daya diperbaiki dengan pemasangan kapasitor 2203,9 μF, maka daya reaktif yang terbuang (Q<sub>c</sub>) yaitu 99,875 kVAr atau 84,36 %. KA Fajar dan Senja Utama kelas bisnis setelah faktor daya diperbaiki dengan pemasangan kapasitor 141,86 μF, maka daya reaktif yang terbuang (Q<sub>c</sub>) yaitu 6,431 kVAr atau 84,55 %. KA Tawang Jaya kelas ekonomi setelah faktor daya diperbaiki dengan pemasangan kapasitor 133,92 μF, maka daya reaktif yang terbuang (Q<sub>c</sub>) yaitu 6,072 kVAr atau 83,52%.

#### 4 Kesimpulan

Penelitian, pengujian, dan analisis data dilakukan pada KA Argo Muria kelas eksekutif, KA Fajar dan Senja Utama kelas bisnis, dan KA Tawang Jaya kelas ekonomi. Maka dapat diambil kesimpulan bahwa, pengukuran untuk kelas eksekutif direntang waktu 8-12 September 2012 didapatkan arus maksimum sebesar 227A, rata-rata arus harian 135,72A, beban maksimum sebesar 91,135kW, dan rata-rata beban harian 54,49kW. Kelas bisnis dengan rentang pengukuran 15-19 September 2012 didapatkan arus maksimum sebesar 16,75A, rata-rata arus harian 8,73A, beban maksimum sebesar 7,716kW, dan rata-rata beban harian 4,02kW. Kelas ekonomi dengan rentang pengukuran 22-26 September 2012 didapatkan arus maksimum sebesar 14,25A, rata-rata arus harian 11,48A, beban maksimum sebesar 5,9kW, dan rata-rata beban harian 4,76kW. Persentase pemakaian kapasitas genset terhadap beban puncak kelas eksekutif dengan genset 500kVA adalah 29,8%, kelas bisnis dengan genset 150kVA adalah 7,34%, dan kelas ekonomi dengan genset 50kVA adalah 18,75%. Untuk memperbaiki faktor daya gerbong kelas eksekutif dari 0,61 menjadi 0,98 dibutuhkan kapasitor 2203,9 μF (99,875 kVar), kelas bisnis dari 0,69 menjadi 0,98 dibutuhkan kapasitor 141,86 μF (6,431 kVar), dan kelas ekonomi dari 0,63 menjadi

0,98 dibutuhkan kapasitor 133,92 μF (6,072 kVar). Penggunaan genset di gerbong kereta pembangkit hendaknya disesuaikan kapasitasnya dengan kebutuhan beban pada rangkaian kereta api baik di kelas eksekutif, bisnis, maupun ekonomi.

#### Daftar Pustaka

- [1]. F. W. Carter, 1922, *RAILWAY ELECTRIC TRACTION*, Edward Arnold & Co. London.
- [2]. Gonen, Turan, *Electric Power Distribution System Engineering*, Mc Graw-Hill Book Co., Singapore, 1986
- [3]. Octo Pantas M. Gultom, 2009, *Studi Sistem Instalasi Penerangan Pada Kereta Api Penumpang Class Executive Aplikasi Pada PT. KAI (Kereta Api Indonesia)*
- [4]. Panitia PUIL, *Persyaratan Umum Instalasi Kelistrikan 2000 (PUIL 2000)*, Yayasan PUIL, Jakarta, 2000.
- [5]. Peni Handayani, dkk, 2008, *Teknik pemeliharaan dan Perbaikan sistem Elektronika*, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- [6]. Sabto Budi Prasetyo, 2009, *Studi Perancangan Instalasi Genset Gedung Baru PT. AT Indonesia*, Indonesia.
- [7]. Siswoyo, 2008, *Teknik Listrik Industri*, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta.
- [8]. Sulasno, *Teknik dan Sistem Distribusi Tenaga Listrik*, Badan Penerbit Universitas Diponegoro, Semarang, 2001
- [9]. Yogo Prananto, 2011, *Pemeliharaan dan Penanggulangan Gangguan AC Kereta*, Indonesia.
- [10]. Zuhail, 1992, *Dasar Teknik Tenaga Listrik dan Elektronika Daya*, Jakarta.
- [11]. [http://id.wikipedia.org/wiki/Dipo\\_kereta](http://id.wikipedia.org/wiki/Dipo_kereta)
- [12]. <http://ncupndut.blogspot.com/2009/02/petunjuk-teknis-kereta-penumpang.html>
- [13]. <http://rel-keretaapi.blogspot.com/2010/04/antara-kereta-vs-gerobak-gerbong.html>
- [14]. <http://riandito.wordpress.com/>
- [15]. <http://perlengkapan-rangkaian-kereta-api.html>
- [16]. <http://shidiqsetiadi.blogspot.com/laporan-prakerin-ptkai.html>
- [17]. <http://tentang-instalasi-kereta.blogspot.com/happy-happy-instalasi-kereta.html>
- [18]. <http://www.energyefficiencyasia.org>
- [19]. <http://www.krl.co.id/index.php/Contacts/PT.-KAI-Commuter-Jabodetabek.html>
- [20]. [http://www.wikipedia.com/index.php/Moda\\_Transportas i\\_Kereta\\_Api.html](http://www.wikipedia.com/index.php/Moda_Transportas_i_Kereta_Api.html)