

PERHITUNGAN EFEKTIVITAS GARDU TRAKSI BOJONG GEDE PADA LINTAS MANGGARAI - BOGOR

Mariana Diah Puspitasari¹, Email : mariana@ppi.ac.id

Febi Wiratama Putra², Email : febi.tep1625@taruna.api.ac.id

^{1,2} Progam Studi Teknologi Elektro Perkeretaapian, Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun

ABSTRAKS

Kereta Rel Listrik PT Kereta Commuter Indonesia (KCI) merupakan sarana transportasi yang mengangkut penumpang di Jabodetabek. Pada lintas Bogor–Manggarai disuplai beberapa Gardu Traksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana kemampuan kapasitas daya gardu pada lintas bogor – manggarai terhadap pembebanan pola operasi KRL saat ini serta bagaimana kemampuan kapasitas daya dukung gardu terhadap peningkatan pembebanan pola operasi KRL pada *peak hour*. Untuk itu dilakukan analisa dengan rumus perhitungan, diantaranya: berat total KRL, kapasitas daya gardu traksi pada lintas manggarai–bogor, kapasitas daya berdasarkan *headway*, kapasitas daya berdasarkan arus maksimum, kapasitas yang dibutuhkan, dan kapasitas lintas yang digunakan pada jalur ganda. Dapat disimpulkan bahwa kapasitas daya listrik lintas Manggarai–Bogor pada kondisi *headway* normal 4 menit sesuai GAPEKA tahun 2017 dapat dipenuhi oleh Gardu Traksi Bojonggede. Serta pada kondisi *peak hours* Gardu Traksi Bojonggede dapat mendukung dengan *headway* 3,75 menit dan dapat diperkecil menjadi 3 hingga 2 menit.

Kata kunci : Gardu KRL, Gardu Traksi, Kereta Rel Listrik

ABSTRACT

Electric Rail Train of PT Kereta Commuter Indonesia (KCI) is a means of transportation that transports passengers in Greater Jakarta. In the Bogor-Manggarai crossing, several Traction substations are supplied. This study aims to determine how the capability of substation power capacity in Bogor - Manggarai crossing towards the loading of the current KRL operating pattern and how the capacity of substation carrying capacity to increase the loading of KRL operating patterns at peak hour. For this reason, analysis using the calculation formula, among them: total KRL weight, tractive substation power capacity in the Manggarai-Bogor crossroad, power capacity based on headway, power capacity based on maximum current, required capacity, and cross capacity used on multiple lines. It can be concluded that the capacity of the cross-Manggarai-Bogor electric power in the normal 4-minute headway according to GAPEKA 2017 can be fulfilled by the Bojonggede Traction Station. And at peak hours conditions Bojonggede Traction Station can support with 3.75 minutes headway and can be reduced to 3 to 2 minutes.

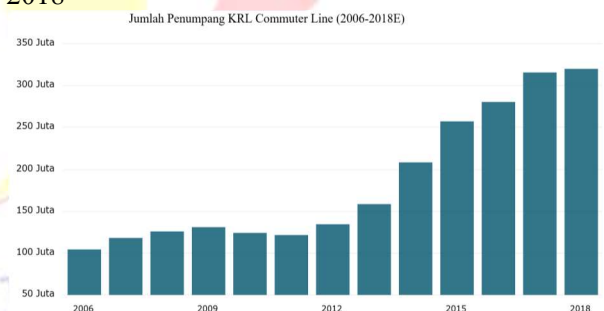
Keywords: KRL Substation, Traction Substation, Electric Rail Trains

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Perkembangan bidang perkeretaapian di Indonesia 7 tahun terakhir mengalami pertumbuhan sangat dinamis. Transportasi kereta Api saat ini menjadi primadona untuk perjalanan jarak menengah. Seperti halnya Kereta Rel Listrik (KRL) telah menjadi pilihan utama khususnya pada penduduk JABODETABEK. Hal ini dibuktikan dari data Badan Pusat Statistik pengguna *Kereta Commuter* Indonesia setiap tahun mengalami peningkatan.

Gambar 1 Jumlah Penumpang KRL 2006 – 2018



Dari data di atas tentunya PT Kereta Commuter Indonesia sebagai operator yang menyediakan fasilitas transportasi umum berupa pelayanan angkutan rel listrik tentunya harus meningkatkan jumlah kapasitas angkutnya. Menurut VP komunikasi KCI, Eva Chairunisa, pihak KCI berfokus menambah jumlah KRL rangkaian panjang untuk mengatasi masalah daya angkut dan untuk menambahkan 1 rangkaian dengan 12 kereta yang dipakai untuk lintas Bogor atau Depok – Jakarta kota, Cikarang atau Bekasi – Jakarta kota menargetkan pengadaan 20 rangkaian dengan 12 kereta pada Desember 2017.

Lintas Manggarai – Bogor merupakan lintas padat KRL terutama pada jam sibuk (*Peak Hour*) pagi dan sore. Lintas ini terdapat 15 Gardu traksi untuk menyuplai dengan total daya 75.805 kVa. Demi kebutuhan daya angkut, konsumsi daya listrik tiap tahun meningkat. Sehingga efektivitas penggunaan Gardu Traksi merupakan hal penting dalam pengoperasian kereta. Untuk itu perlu diperhitungkan gardu mana saja yang dioperasikan untuk efektivitas daya listrik serta gardu mana saja yang perlu ditingkatkan. Agar tetap optimal dalam mendukung kebutuhan daya angkut dengan rangkaian 12 kereta pada jam sibuk pagi dan sore.

1.2 Rumusan Masalah

Berangkat dari hal diatas, ada dua permasalahan yang coba dijawab yaitu, Bagaimana kemampuan kapasitas daya gardu terhadap pembebanan pola operasi KRL saat ini serta bagaimana kemampuan kapasitas daya dukung gardu terhadap peningkatan pembebanan pola operasi KRL pada “*peak hour*”

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sarana Perkeretaapian Berpenggerak Listrik

Kereta Rel Listrik merupakan salah satu sarana perkeretaapian yang memiliki penggerak sendiri yang disebut Traksi Motor (*Motor Traction/ MT*) dan menggunakan sumber tenaga listrik. KRL mendapatkan suplai listrik dari gardu traksi melalui jaringan Listrik Aliran Atas (LAA). Sumber listrik yang digunakan merupakan listrik dengan tegangan searah/ *Direct Current* (DC) sebesar 1500 VDC dan ditransmisikan melalui kawat kontak (*Trolley Wire*) yang berhubungan langsung dengan *Panthograph*.

Susunan rangkaian KRL terdiri dari dua jenis kereta, yaitu *Motor Car* (MC) merupakan bagian kereta dengan penggerak dan *Trailer Car* (TC) merupakan bagian kereta tanpa penggerak. Susunan

rangkaian dalam 1 set KRL merupakan susunan tetap, artinya susunan dalam 1 set KRL tidak bisa berubah atau diganti dengan kereta jenis lainnya. Sehingga apabila terjadi kerusakan, maka rangkaian keseluruhan harus tidak beroperasi. Ada dua jenis rangkaian pada KRL,

- a) Rangkaian 10 (sepuluh) KA
Rangkaian dengan 10 KA terdiri dari 2 TC dengan kabin masinis, 6 MC dengan sistem *propulsi* dan *auxiliary* serta 2 trailer tanpa kabin masinis.
- b) Rangkaian 12 (dua belas) KA
Rangkaian dengan 12 KA terdiri dari 2 TC dengan kabin masinis, 6 MC dengan sistem *propulsi* dan *auxiliary* serta 4 trailer tanpa kabin masinis.

2.2 Gardu Listrik Sebagai Pensuplai Daya Listrik

Gardu Listrik merupakan peralatan yang mensuplai daya listrik yang sumbernya berasal dari PT PLN (Persero) atau sumber daya lainnya dengan tegangan operasi KRL adalah 1500 VDC melalui jaringan *catenary*. Jenis-jenis gardu listrik yang terdapat pada jaringan *catenary* PT KAI (Persero) antara lain:

- a) Gardu listrik tanpa fasilitas suplai daya listrik tegangan 6kV AC.
- b) Gardu listrik dengan fasilitas suplai daya listrik tegangan 6kV AC.
- c) *Sectioning post* yakni gardu listrik yang tidak memiliki suplai daya listrik PLN melainkan hanya menerima dari gardu listrik sebelah dan hanya sebagai pendistribusi ke jaringan LAA.

Suplai daya listrik tegangan 6kV pada jaringan LAA berfungsi untuk suplai peralatan persinyalan dan telekomunikasi dan public service serta pintu perlintasan. Berdasarkan pabrik yang memproduksinya terdapat 4 sistem gardu yang digunakan, yaitu Meidensha, Siemens, Toshiba, Secheron.

Pada gardu listrik, terdapat peralatan utama yang terpasang. Diantaranya:

- a) Load Breaking Switch (LBS)
- b) Vacuum Circuit Breaker (VCB)
- c) Transformator Step Down

Transformator merupakan alat pengubah tegangan AC dimana transformator yang digunakan adalah jenis transformator penurun tegangan (*step down*) antara lain mengubah tegangan:

- 1) Transformator penurun tegangan 2kV/1.2kV
- 2) Transformator penurun tegangan 2kV/6kV

- 3) Transformator penurun tegangan 1.2kV/380V
 - 4) Transformator penurun tegangan 2kV/6kV
 - 5) Transformator penurun tegangan 2kV/380V
 - d) Silicon Rectifier
 - e) Negatif Panel
- Sedangkan peralatan pendukung yang terpasang pada gardu listrik, diantaranya:
- a) Remote Control
 - b) Linked Breaking Device (LBD)
 - c) Panel tegangan rendah (AC DC Low Voltage)
 - d) Baterai

Untuk bagian-bagian yang ada di gardu listrik, diantaranya:

- a) Peralatan penerima
- b) Peralatan Penyulang
- c) Peralatan Distribusi
- d) Peralatan Konversi Daya
- e) Peralatan Tegangan Rendah
- f) Peralatan *supervisory control system*

Besaran nilai kapasitas gardu traksi harus cukup menanggung beban KRL yang direncanakan. Pertimbangan – pertimbangan yang berkaitan adalah jarak antar stasiun, kecepatan KRL, data percepatan/perlambatan, karakter tenaga KRL dan Koefisien Adhesi, berat kosong/isi, interval waktu, sifat rangkaian KRL, tipe KRL/lok, perkiraan volume penumpang yang akan datang, perencanaan jumlah Kereta Api, kapasitas dan jarak antar Gardu Traksi. Parameter yang menentukan kapasitas daya Gardu Traksi adalah sebagai berikut:

- a) Kapasitas daya peralatan Gardu Traksi, yaitu Transformer dan *Silicon Rectifier*
- b) Kapasitas daya dari PLN.
- c) Ada/ tidak fasilitas tambahan yang menggunakan daya Gardu Traksi (6kV AC).

Seperti yang dinyatakan oleh (Dwiatmoko, 2016) perhitungan kapasitas daya listrik pada gardu traksi KRL dengan menggunakan pendekatan empiris dengan rumus yang akan digunakan adalah: Rumus beban maksimum satu jam (Dwiatmoko, 2016) (1)

$$Y = C \times D \times (60/H) \times N \times P \times (W/1000) \text{ (kW)} \quad (1)$$

Keterangan:

- Y = Beban maksimum satu jam
 C = Susunan rangkaian (set)
 D = jarak pengisian gardu traksi (km)
 H = Headway (menit)
 N = Jenis track 2 (double track), 1 (single track)
 P = Rasio konsumsi kereta (50 Kwh/1000 ton km)
 W = berat total KRL + Penumpang (kap.

- 200%)
 α = Rasio pembagian arus, akan dipakai 0,08 (untuk arus DC)
 I_m = Arus maksimum KRL (ampere)

Rumus Kapasitas Daya Berdasarkan Headway (Dwiatmoko, 2016) (2)

$$Z1 = Y + C_m \sqrt{y} \text{ (kW)} \quad (2)$$

Rumus Kapasitas Daya Berdasarkan Arus Maksimum (Dwiatmoko, 2016) (3)

$$Z2 = 1,5kV \times 2 I_m (1\alpha) \quad (3)$$

Rumus Kapasitas yang Dibutuhkan (Dwiatmoko, 2016) (4)

$$Z_n = Z1/2,5 \quad \text{jika } Z1 > Z2; \text{ atau} \\ Z_n = Z2/2,5 \quad \text{jika } Z2 > Z1 \quad (4)$$

Keterangan:

- Z1 = Kapasitas daya berdasarkan headway (KW)
 Z2 = Kapasitas daya berdasarkan beban arus maksimum (KW)
 C_m = Faktor untuk elektrifikasi DC $1.7\sqrt{I_m}$
 α = Rasio pembagian arus, akan dipakai 0,08
 I_m = Arus maksimum KRL (ampere)

2.3 Kapasitas Lintas Perkeretaapian

Pada lintas Manggarai - Bogor menggunakan jalur ganda. Pada jalur ganda prosentase pengurangan adalah 30% sehingga faktor pengali (η) adalah 70%. Rincian pengurangan hampir sama seperti pada jalur tunggal yaitu 20% untuk waktu perawatan dan 10% waktu hilang karena tidak bisa meminimalkan waktu dalam *headway* minimum untuk kereta api searah. Berikut ini adalah rumus kapasitas lintas yang digunakan pada jalur ganda (BPSDM Perhubungan, 2014) (5):

$$K = \frac{1440}{WT + WP} \times 2 \times 0,7 \quad (5)$$

Keterangan:

- K = Kapasitas Lintas (KA/hari)
 WT = Waktu tempuh KA dari stasiun A ke B (menit)
 WP = Waktu pelayanan perangkat persinyalan

2.4 Kecepatan Rata – Rata Perkeretaapian

Untuk mengukur kecepatan rata-rata rumus yang digunakan oleh PT Kereta Api (Persero) untuk

menentukan rata – rata puncak kecepatan grafis (BPSDM Perhubungan, 2014) (6):

$$V_{rata-rata} = \frac{\sum V_{KA \text{ yang melintas}}}{\sum KA} \quad (6)$$

Keterangan:

$V_{rata-rata}$ = kecepatan rata - rata (Km/jam)

V = kecepatan KA maksimal pada lintas tertentu (Km/jam)

2.5 Grafik Perjalanan Kereta Api (Gapeka)

Grafik Perjalanan Kereta Api yang selanjutnya disebut Gapeka adalah pedoman pengaturan pelaksanaan perjalanan kereta api yang digambarkan dalam bentuk garis yang menunjukkan stasiun, waktu, jarak, kecepatan, dan posisi perjalanan kereta api mulai dari berangkat, bersilang, bersusulan, dan berhenti yang digambarkan secara grafis untuk pengendalian perjalanan kereta api.

2.6 Headway

Headway adalah interval atau selang waktu antara saat dimana bagian depan kereta api melalui titik (stasiun) sampai dengan saat bagian depan kereta api berikutnya melalui satu titik (stasiun) yang sama dengan satuan menit/ KA.

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini juga menggunakan beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan topik bahasan penelitian ini. Salah satunya adalah penelitian dari Ava Rizkinda Putri pada tahun 2018. Dengan judul Analisa Daya Dukung Gardu Traksi Kranji pada Pengoperasian Kereta Bandara Soekarno Hatta. Penelitian ini dilaksanakan di Lintas Bekasi - Cakung. Kesimpulan yang didapatkan dari penelitian ini adalah kemampuan GT. Kranji untuk menyuplai lintas tsb dengan penggunaan jalur bersama mampu menyuplai dengan headway tersempit yaitu 3 menit dengan kondisi rectifier dan transformator mencukupi serta pada kondisi gardu ketika gardu bersebelahan mengalami pemadaman masih mampu menyuplai hingga headway 3 menit.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada perhitungan konsumsi daya KRL pada *Peak Hour* dan perhitungan kemampuan daya pada GT. Bojonggede. Data yang digunakan adalah data primer yaitu berat total KRL, headway perjalanan KRL, jarak pengisian antar gardu, jarak Petak Blok lintas Manggarai – Bogor, dan onsumsi daya KRL. Sedangkan data sekunder berupa spesifikasi teknis KRL, spesifikasi teknis gardu traksi, gapeka 2018,

peta Elektrifikasi Daop 1 Jakarta, dan jarak dan jumlah sinyal blok lintas Manggarai – Bogor. Data tersebut diperoleh dari PT Kereta Api Indonesia Daerah Operasi 1 Jakarta serta pencarian referensi yang relevan dengan permasalahan efektivitas perhitungan gardu traksi KRL pada lintas Manggarai – Bogor.

Berdasarkan data – data yang diperoleh yaitu data primer dan data sekunder akan diolah menggunakan metode analisis kuantitatif mengenai efektivitas perhitungan Gardu Traksi KRL pada lintas Manggarai - Bogor sesuai dengan rumus pengujian fasilitas operasi kereta api (Dwiatmoko, 2016) sebagai berikut :

Rumus Perhitungan Berat Total KRL (7)

$$\Sigma \text{berat total} = \Sigma \text{total berat kosong} + \Sigma \text{berat 200\% penumpang} \quad (7)$$

Rumus Perhitungan Arus Total KRL (8)

$$I_m = \frac{\text{total daya (Kw)}}{\text{tegangan operasi (V)}} \quad (8)$$

Rumus Kapasitas Daya Gardu Traksi pada Lintas Manggarai – Bogor (1)

$$Y = C \times D \times \left(\frac{60}{H}\right) \times N \times P \times \left(\frac{W}{1000}\right) (kW) \quad (1)$$

Rumus Kapasitas Daya Berdasarkan Headway

$$Z1 = Y + C_m \sqrt{y} (kW) \quad (2)$$

Rumus Kapasitas Daya Berdasarkan Arus Maksimum

$$Z2 = 1,5 \text{ kV} \times 2 I_m (1 - \alpha) \quad (3)$$

Rumus Kapasitas yang Dibutuhkan

$$\begin{aligned} Z_n &= Z1/2,5 && \text{jika } Z1 > Z2 ; \text{ atau} \\ Z_n &= Z2/2,5 && \text{jika } Z2 > Z1 \end{aligned} \quad (4)$$

Perhitungan frekuensi KRL yang melintas pada lintas Manggarai – Bogor pada *Peak Hour* dengan acuan maksimal kapasitas lintas KRL. Berikut ini adalah rumus kapasitas lintas yang digunakan pada jalur ganda (BPSDM Perhubungan, 2014):

$$K = \frac{1440}{WT+WP} \times 2 \times 0,7 \quad (5)$$

Keterangan:

K = Kapasitas Lintas (KA/hari)

WT = Waktu tempuh KA dari stasiun A ke B (menit)

WP = Waktu pelayanan perangkat Persinyalan

Hasil penghitungan di atas dapat diketahui kemampuan Gardu Traksi pada lintas Manggarai - Bogor untuk menyuplai pola operasi KRL saat normal maupun saat jam sibuk (*Peak Hour*).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Jarak Pengisian antar Gardu

Jarak pengisian gardu merupakan jarak antar gardu dengan gardu yang bersebelahan. Jarak antar Gardu yang diperbolehkan untuk LAA arus searah adalah 6 km. Gardu yang bersebelahan menyuplai lintas yang terletak di antaranya dengan pembagian jarak 50:50. Semakin jauh jarak antar gardu bersebelahan maka akan semakin besar rugi – rugi tegangan yang terjadi.

Gambar 2 Peta Lokasi Gardu



(Sumber : Daop 1 Jakarta)

4.2 Headway (Jarak antar Kereta)

Headway adalah interval atau selang waktu antara saat dimana bagian depan kereta api melalui titik (stasiun) sampai dengan saat bagian depan kereta api berikutnya melalui satu titik (stasiun) yang sama dengan satuan menit/KA. Headway diambil dari data perjalanan KRL pada lintas Manggarai – Bogor dari data Gapeka 2017.

Pembagian waktu untuk perjalanan kereta api dibedakan menjadi *peak hours* dan *off peak hours*.

Pada kondisi normal, *headway* yang digunakan adalah 4 menit sedangkan pada *peak hours*, *headway* diperkecil menjadi 3,75 menit, 3 menit, dan 2 menit.

4.3 Spesifikasi Teknik dan Berat KRL

Terdapat beberapa seri KRL yang beroperasi pada lintas Manggarai - Bogor yaitu sebagai berikut.

Tabel 1 Jenis dan Berat KRL

No	Jenis KRL	TS	Berat (ton)
1.	JR205	12	569,4
		10	467,84
2.	JR203	12	504,62
		8	382,52
3.	Tokyo Metro 6000	10	495,68
4.	Tokyo Metro 7000	8	389,32
5.	Tokyo Metro 1000	8	444,98
6.	Toyo Rapid 5000	10	513,98
7.	Tokyu 8000	8	412,32
8.	Tokyu 8500	8	412,32
9.	Tokyo Metro 05	10	418

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.4 Total Arus KRL

Sebelum menghitung total arus KRL, harus diketahui terlebih dahulu daya konsumsi KRL berdasarkan jumlah daya/traksi motor dikali dengan jumlah/set. Pada penelitian ini, total daya konsumsi terbanyak ada pada jenis KRL Tokyo Metro seri 6000 (10 SF) dan JR 205 (12 SF) dengan total daya konsumsi sebanyak 3840 kW.

Berikut perhitungan total arus:

Daya generator utama = 304 kW, maka:

$$\Sigma \text{generator utama} = 304 \text{ kW} \times 2 = 608 \text{ kW}$$

Daya satu *driven air compressor* = 40 kW, maka:

$$\Sigma \text{motor driven air compressor} = 40 \text{ kW} \times 2 = 80 \text{ kW}$$

Perhitungan total daya:

$$\begin{aligned} \Sigma \text{Daya} &= \text{Daya TM} + \Sigma \text{gen. utama} \\ &+ \Sigma \text{motor driven air compressor} \\ &= 3840 + 608 + 80 \\ &= 4528 \text{ kW} \end{aligned}$$

Perhitungan total arus:

$$I_m = \frac{4528 \text{ kW}}{1500 \text{ V}} = 3019 \text{ Ampere} \quad (8)$$

4.5 Kapasitas Hantar Arus Jaringan *Catenary* Listrik Aliran Listrik

Jaringan *catenary* yang digunakan pada lintas Manggarai – Bogor yaitu sistem Jepang (*Simple Catenary Single Trolley*) sehingga perhitungan hantar LAA berdasar pada sistem jaringan Jepang. Kapasitas hantar arus jaringan *catenary* listrik aliran atas pada lintas Manggarai – Bogor ditentukan sebagai berikut:

Jaringan *catenary* = sistem Jepang

Luas penampang kawat *feeder* = $2 \times 300 \text{ mm}^2 = 600 \text{ mm}^2$

Luas penampang kawat *trolley* = 110 mm^2

$$\Sigma \text{luas penampang} = 600 \text{ mm}^2 + 110 \text{ mm}^2 = 710 \text{ mm}^2$$

Kapasitas hantar arus listrik tembaga

$$(Cu) = 4A/\text{mm}^2$$

Kapasitas hantar arus jaringan *catenary*

$$= 710 \text{ mm}^2 \times 4 A = 2840 A$$

Traksi Motor yang tercantum di dalam spesifikasi teknis berjumlah 4 (empat), namun pada kondisi lapangan hanya 3 (tiga) traksi motor yang digunakan.

$$\text{Daya TM} = 960 \times 3 = 2880 \text{ kW}$$

$$\Sigma \text{Daya} = 2880 + 608 + 80 = 3568 \text{ kW}$$

Sehingga total arus:

$$I_m = \frac{3568 \text{ Kw}}{1500 \text{ V}} = 2379 \text{ Ampere} \quad (8)$$

Dari hasil perhitungan di atas, yang akan dijadikan parameter untuk perhitungan kapasitas daya gardu traksi adalah tipe KRL JR 205 (12 SF) dengan 3 traksi motor karena memiliki arus terbesar yaitu 2379 Ampere.

4.6 Peralatan Persinyalan Petak Jalan Citayam – Bojonggede dan Petak Jalan Bojonggede – Cilebut

Persinyalan elektrik yang digunakan di Jabodetabek menggunakan sinyal blok otomatis terbuka yang berfungsi untuk meningkatkan kapasitas lintas. Pada prinsipnya, sinyal blok dapat terisi semua oleh rangkaian kereta. Sinyal blok otomatis terbuka ini beraspek hijau pada kondisi normal/ *default*. Ketika suatu petak blok terduduki rangkaian kereta, maka sinyal dibelakangnya akan otomatis berubah menjadi merah. Pada petak jalan Citayam – Bojonggede terdapat 3 sinyal blok di jalur hilir yaitu B201, B202, B203 dan 4 sinyal blok yaitu B101, B102, B103, B104 di jalur hulu. Petak jalan Bojonggede – Cilebut terdapat 3 sinyal blok dan 1 sinyal ulang di jalur hilir serta 3 sinyal blok di jalur hulu. Diantara kedua petak jalan tersebut terdapat satu stasiun yaitu Stasiun Bojonggede dengan 1 sinyal blok. Jadi jumlah maksimal perjalanan KRL

yang dapat dilakukan secara bersamaan pada Petak Jalan Citayam – Cilebut 8 kereta di jalur hilir dan 8 kereta di jalur hulu.

g. Kapasitas Daya Gardu Traksi Bojonggede

Gardu traksi Bojonggede dibangun untuk menyuplai lintas hulu dan hilir lintas Manggarai – Bogor. Saat ini GT. Bojonggede memiliki trafo berkapasitas 5000 kVA, dengan daya *silicon rectifier* 4000 kW. Dari beberapa seri KRL yang beroperasi di lintas Manggarai – Bogor akan diambil sampel faktor elektrifikasi yang memiliki nilai konsumsi arus terbesar yaitu pada JR 205 (12 SF). Dengan perhitungan sebagai berikut.

$$C_m = 1,7 + \sqrt{2379}$$

$$C_m = 89,92 \text{ kW}$$

Maka kapasitas Daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan pada kondisi *headway* normal adalah sebagai berikut.

$$Y = C \times D \times \left(\frac{60}{H}\right) \times N \times P \times \left(\frac{W}{1000}\right) \quad (1)$$

$$Y = \left(\left(\frac{569,4}{1000} \times 8\right) + \left(\frac{467,84}{1000} \times 1\right) + \left(\frac{382,52}{1000} \times 1\right) + \left(\frac{504,62}{1000} \times 4\right) + \left(\frac{495,68}{1000} \times 3\right) + \left(\frac{389,32}{1000} \times 3\right) + \left(\frac{444,98}{1000} \times 2\right) + \left(\frac{513,98}{1000} \times 1\right) + \left(\frac{412,32}{1000} \times 6\right) + \left(\frac{418}{1000} \times 2\right)\right) \times 4,723 \times \left(\frac{60}{4}\right) \times 2 \times 0,05$$

$$Y = 14,793 \times 4,723 \times 15 \times 2 \times 0,05$$

$$Y = 104,801 \text{ kW}$$

Beban puncak sesaat (Z1) berdasar *headway* pada gardu traksi Bojonggede.

$$Z1 = Y + C_m \sqrt{Y} \quad (2)$$

$$Z1 = 104,801 + 89,92 \sqrt{104,801}$$

$$Z1 = 1025,333 \text{ kW}$$

Beban puncak sesaat (Z2) berdasarkan arus maksimum:

$$Z2 = 1,5 \text{ kV} \times 2 I_m (1 - \alpha) \quad (3)$$

$$Z2 = 1,5 \times 2 (2379) (1 - 0,08)$$

$$Z2 = 6566,04 \text{ kW}$$

Besarnya kapasitas gardu yang dibutuhkan untuk menyuplai lintas Manggarai - Bogor di jam normal jalur hulu dan hilir dengan perbandingan bahwa nilai Z2 lebih besar dari nilai Z1.

$$Z_n = \frac{Z2}{2,5} = \frac{6566,04}{2,5} = 2626,416 \text{ kW} =$$

$$3283,02 \text{ kVA} \quad (4)$$

Sehingga didapat kapasitas daya listrik yang dibutuhkan Gardu Traksi Bojonggede untuk lintas

Manggarai - Bogor pada jalur hulu dan hilir dengan komposisi KRL sesuai Gapeka 2017 jam normal sebesar 3283,02 kVA.

Kapasitas daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan pada kondisi *headway* normal jam sibuk (3,75 menit), beban maksimum satu jam (Y) = 68,845 kW, beban puncak sesaat berdasarkan *headway* (Z1) = 814,937 kW, beban puncak sesaat berdasarkan arus maksimum (Z2) = 6566,04 kW, karena nilai $Z2 > Z1$ sehingga kapasitas daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan adalah $Zn = 2626,416 \text{ kW} = 3283,02 \text{ kVA}$.

Kapasitas daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan pada kondisi *headway* diperkecil menjadi 3 menit, beban maksimum satu jam (Y) = 86,057 kW, beban puncak sesaat berdasarkan *headway* (Z1) = 920,217 kW, beban puncak sesaat berdasarkan arus maksimum (Z2) = 6566,04 kW, karena nilai $Z2 > Z1$ sehingga kapasitas daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan adalah $Zn = 2626,416 \text{ kW} = 3283,02 \text{ kVA}$.

Kapasitas daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan pada kondisi *headway* diperkecil menjadi 2 menit, beban maksimum satu jam (Y) = 129,085 kW, beban puncak sesaat berdasarkan *headway* (Z1) = 1107,689 kW, beban puncak sesaat berdasarkan arus maksimum (Z2) = 6566,04 kW, karena nilai $Z2 > Z1$ sehingga kapasitas daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan adalah $Zn = 2626,416 \text{ kW} = 3283,02 \text{ kVA}$.

4.8 Kondisi Darurat ketika Gardu Traksi Citayam off

Pada kondisi darurat bila suatu gardu traksi tidak dapat beroperasi misalkan terjadi gangguan pada gardu tersebut sehingga tidak dapat menyuplai tegangan ke lintas atau gardu traksi tersebut padam maka gardu traksi sebelumnya bisa digunakan untuk menyuplai tegangan pada petak jalan tersebut atau biasa disebut dengan istilah *By Pass*.

Kondisi Darurat ketika Gardu Traksi Citayam OFF (*headway* 4 menit) beban maksimum satu jam (Y) = 161,199 kW, beban puncak sesaat berdasarkan *headway* (Z1) = 1302,861 kW, beban puncak sesaat berdasarkan arus maksimum (Z2) = 6566,04 kW, karena Nilai $Z2 > Z1$ sehingga kapasitas daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan adalah $Zn = 2626,416 \text{ kW} = 3283,02 \text{ kVA}$.

Kondisi Darurat ketika Gardu Traksi Citayam OFF (*headway* 3 menit 45 detik) beban maksimum satu jam (Y) = 171,946 kW, beban puncak sesaat berdasarkan *headway* (Z1) = 1351,051 kW, beban puncak sesaat berdasarkan arus maksimum (Z2) =

6566,04 kW, karena nilai $Z2 > Z1$ sehingga kapasitas daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan adalah $Zn = 2626,416 \text{ kW} = 3283,02 \text{ kVA}$.

Kondisi Darurat ketika Gardu Traksi Citayam OFF (*headway* 3 menit) Beban maksimum satu jam (Y) = 214,932 kW, Beban puncak sesaat berdasarkan *headway* (Z1) = 1533,211 kW, Beban puncak sesaat berdasarkan arus maksimum (Z2) = 6566,04 kW karena Nilai $Z2 > Z1$ sehingga kapasitas daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan adalah $Zn = 2626,416 \text{ kW} = 3283,02 \text{ kVA}$.

Kondisi Darurat ketika Gardu Traksi Citayam OFF (*headway* 2 menit) Beban maksimum satu jam (Y) = 322,399 kW, Beban puncak sesaat berdasarkan *headway* (Z1) = 1936,955 kW, Beban puncak sesaat berdasarkan arus maksimum (Z2) = 6566,04 kW karena Nilai $Z2 > Z1$ sehingga kapasitas daya Gardu Traksi Bojonggede yang dibutuhkan adalah $Zn = 2626,416 \text{ kW} = 3283,02 \text{ kVA}$.

4.9 Kemampuan Transformator dan Rectifier pada Gardu Traksi Bojonggede

Setelah diketahui daya listrik yang dibutuhkan untuk memenuhi kondisi – kondisi yang dijadikan parameter penelitian, dari hasil perhitungan tersebut dapat dilakukan perbandingan dengan kapasitas eksisting. Standar maksimum total beban yang diizinkan adalah 67% dari kapasitas *Rectifier* dan maksimum 74% dari kapasitas *Transformator*.

Tabel 2 Persyaratan *Transformator*

No	Efisiensi	Waktu
1	100 %	<i>Continuous</i>
2	150%	2 jam
3	200%	5 menit
4	300%	1 menit

Sumber : PM No. 50 Tahun 2018

Transformator untuk penyearah harus bekerja pada kondisi beban seperti dalam Tabel 4.13 dan mempunyai tap tegangan masuk $\pm 10 \%$ dari tegangan nominal.

Perbandingan kapasitas *Rectifier* (9):

$$\text{Kapasitas Rectifier} = \frac{2626,42}{4000} \times 100\% = 65\% \quad (9)$$

Keterangan:

1. Kapasitas Eksisting = 4000 kW
2. Jika total beban $< 67\%$, maka kapasitas *rectifier* tersebut cukup.

3. Jika total beban >67%, maka kapasitas *rectifier* tersebut tidak cukup/kurang.

Perbandingan kapasitas *transformator* (10):

$$\text{Kapasitas Transformator} = \frac{3533}{5000} \times 100\% = 70\% \quad (10)$$

Keterangan:

1. Kapasitas Eksisting = 5000 kVA
2. Kapasitas berdasarkan hitungan, merupakan penjumlahan Z_n (kVA) dengan kapasitas trafo PDL (200 kVA) dan *auxiliary* (50 kVA)
3. Jika total beban <74%, maka kapasitas *transformator* tersebut cukup.
4. Jika total beban >74%, maka kapasitas *transformator* tersebut tidak cukup/kurang.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kapasitas daya listrik lintas Manggarai – Bogor pada kondisi *headway* normal 4 (empat) menit sesuai GAPEKA tahun 2017, dapat dipenuhi oleh Gardu Traksi Bojonggede dengan kondisi *rectifier* mencukupi sebesar 65 % dan kondisi *transformator* mencukupi sebesar 70% dengan menggunakan sistem *catenary* Jepang dapat ditingkatkan menjadi 12 SF dengan 3 traksi motor yang memiliki kapasitas hantar 2379 Ampere.
2. Daya dukung Gardu Traksi Bojonggede terhadap peningkatan pembebanan terjadi pada 2 (dua) kondisi, pada saat *headway* diperkecil dan ketika kondisi darurat yaitu ketika Gardu Traksi Citayam *Off* (padam). Peningkatan pembebanan Gardu Traksi Bojonggede pada kondisi *peak hours* dengan *headway* 3,75 menit dapat diperkecil menjadi 3 menit dan 2 menit pada pembebanan 12 SF dengan kondisi *rectifier* mencukupi sebesar 65% dan kondisi *transformator* mencukupi sebesar 70%. Ketika kondisi darurat yaitu ketika Gardu Traksi Citayam *Off* (padam), kemampuan kapasitas *rectifier* dan *transformator* mampu dipenuhi untuk menyuplai tegangan pada lintas tersebut ketika *headway* normal maupun ketika *headway* dipersempit menjadi 3,75 menit, 3 menit, dan 2 menit.

Dari hasil analisa disimpulkan bahwa *headway* maksimal 3 menit dan 2 menit pada lintas Manggarai-Bogor. Saat Pemerintah memiliki kebijakan untuk memaksimalkan *headway* dengan tujuan dapat mengangkut seluruh penumpang, maka perlu dilakukan penelitian lanjutan terkait penyesuaian adanya jalur perlintasan sebidang pada

setiap petak blok supaya tidak terjadi kemacetan transportasi *non rail*.

6. REFERENSI

- Anggraeni, D. (2017). Perhitungan Kapasitas Daya Gardu Listrik pada Gardu Traksi Tanah Abang baru guna persiapan pengoperasian KA Bandara Soekarno - Hatta. 1 - 7.
- Badan Pengembangan SDM Perhubungan. (2014). Modul Perencanaan Perjalanan Kereta Api - II. Jakarta. Putri, A. R. (2018). Analisa Daya Dukung Gardu Traksi Kranji pada pengoperasian Kereta Bandara Soekarno - Hatta. 1 - 7.
- BPS. (2019). Jumlah Penumpang Kereta Api, 2006-2019 (Ribu Orang). 2019, agustus 14. diakses dari www.bps.go.id: <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/815>
- Direktorat Pengelolaan Prasarana. (2017). Standar Operasional Prosedur Pelaksanaan Tugas dan Tanggung Jawab Pemeriksaan dan Perawatan STE. Bandung.
- Dwiatmoko, H. (2016). Pengujian Fasilitas Operasi Kereta Api. Jakarta.
- Kumparan.com. (2019, agustus 10). PT KCI Berfokus Menambah KRL Rangkaian Panjang untuk Tingkatkan Daya Angkut Hingga 2020.. Diambil kembali dari kumparan.com:<https://kumparan.com/masajeng-rahmiasri/pt-kci-berfokus-menambah-krl-rangkaian-panjang-untuk-tingkatkan-daya-angkut-hingga-2020>
- Pemerintah Indonesia. (2007). Undang-Undang No. 23 tahun 2007 tentang Perkeretaapian. Jakarta : Sekretariat Negara.
- Pemerintah Indonesia. (2018). Peraturan Menteri Perhubungan PM No. 50 Tahun 2018 tentang Persyaratan Teknis Instalasi Listrik Perkeretaapian. Jakarta : Kementerian Perhubungan
- PT KAI. (2017). Grafik Perjalanan Kereta Api (GAPEKA) 2017. Jakarta: PT KAI.
- Qolbina, E. S. (2017). Optimalisasi Daya Gardu Traksi Cakung dengan peningkatan jumlah KRL pada lintas Bekasi - Jatinegara. 1 - 7.
- Saputra, A. (2019). Studi Evaluasi analisa Perhitungan Daya Gardu Traksi terhadap kebutuhan KRL jalur Manggarai Depok. 1 - 8.