

## Analisis Efektivitas Kapasitas Daya Gardu Traksi Terhadap Kebutuhan KRL Jalur Yogyakarta - Solo

Angga Widy Utomo\*, Umar

Jurusan Teknik Elektro/Fakultas Teknik – Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Surakarta, Indonesia

\*anggawidy307@gmail.com

**Abstract**— *Commuter Line or KRL are becoming a new mode of transportation in the Yogyakarta – Solo. Commuter line is an environmentally friendly train because it uses electricity as its energy source. The electric power used by commuter line is supplied through a 1500 V<sub>DC</sub> catenary system generated from the traction substation. Another advantage besides being environmentally friendly, commuter line can carry a large number of passengers, but during the pandemic, commuter line must limit the number of passenger to reduce crowds on the train. Efforts to overcome this is to increase the schedule of train departures every day. The addition of the departure must consider various aspects, one of which is that the supply of electric power from the traction substation must remain sufficient to meet the needs of the passing commuter line. The purpose of this study was to determine the maximum capability of the Yogyakarta – Solo traction substation against the loading of the passing commuter line. The research was conducted by collecting technical data related to KRL and traction substation, then calculating the load required capacity of traction substation with parameters used were peak load based on maximum current headway. The result of this research the Yogyakarta – Solo traction substation is able to supply commuter line loads up to a 11 minute headway continuously and 8 minute headway for two hours. The Yogyakarta – Solo traction substation is unable to supply commuter line loads a 7 minute headway.*

**Abstrak**— Kereta Rel Listrik (KRL) menjadi moda transportasi baru di jalur Yogyakarta – Solo. KRL adalah kereta yang ramah lingkungan karena menggunakan listrik sebagai sumber energinya. Daya listrik yang digunakan KRL disuplai melalui sistem *catenary* 1500 V<sub>DC</sub> dari gardu traksi. Keuntungan lain selain ramah lingkungan, KRL dapat mengangkut penumpang dalam jumlah banyak, namun di masa pandemi ini KRL harus membatasi jumlah penumpang untuk mengurangi kerumunan di dalam kereta. Upaya untuk mengatasi hal tersebut adalah dengan menambah jadwal pemberangkatan kereta. Penambahan jadwal pemberangkatan harus mempertimbangkan berbagai aspek, salah satunya adalah suplai daya listrik dari gardu traksi harus cukup untuk kebutuhan KRL yang melintas. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kemampuan maksimal gardu traksi Yogyakarta – Solo terhadap pembebanan KRL yang melintas. Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data teknis terkait KRL dan gardu traksi, kemudian dilakukan perhitungan kapasitas yang dibutuhkan gardu traksi dengan parameter perhitungan beban puncak berdasarkan arus maksimum dan penyempitan *headway*. Hasil perhitungan kapasitas gardu akan dibandingkan dengan kapasitas yang tersedia di gardu traksi. Hasil dari penelitian gardu traksi Yogyakarta – Solo mampu menyuplai beban KRL hingga *headway* 11 menit secara terus-menerus dan *headway* 8 menit selama dua jam. Gardu traksi Yogyakarta – Solo tidak mampu menyuplai beban KRL dengan *headway* 7 menit.

**Kata Kunci**— *Traction Substation; Headway; Commuter Line; Power Capacity*

### I. PENDAHULUAN

Yogyakarta - Solo merupakan dua kota besar yang padat penduduk dan memiliki banyak potensi untuk mendukung pertumbuhan ekonomi diantaranya dari segi wisata, budaya dan pendidikan. Pergerakan penduduk dari dua kota tersebut sangatlah cepat, terutama bagi para komuter, yaitu orang-orang yang biasanya ber-

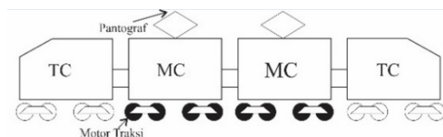
tempat tinggal di Solo, tetapi bekerja atau memiliki kepentingan di Yogyakarta atau sebaliknya. Tidak sedikit masyarakat sekitar Yogyakarta – Solo yang memilih menggunakan transportasi massal untuk berpergian. Masyarakat Yogyakarta – Solo sudah tentu memerlukan dukungan transportasi massal yang nyaman, cepat, tepat waktu, dan harga yang terjangkau. Kereta Rel Listrik (KRL) menjadi moda transportasi baru sebagai pengganti KRDE Prameks yang sebelumnya banyak digunakan warga masyarakat. Adanya KRL ini dinilai akan menjadi transportasi favorit untuk masyarakat sekitar Yogyakarta – Solo.

**Naskah diterima** 16 Juni 2021, diterima setelah revisi 25 Juli 2021, terbit online 25 Februari 2022. Emitor merupakan jurnal Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta yang terakreditasi Sinta 4 dengan alamat Gedung H Lantai 2 UMS, Jalan Ahmad Yani Tromol Pos 1 Surakarta Indonesia 57165.

Kereta Rel Listrik adalah kereta yang ramah lingkungan karena menggunakan listrik sebagai sumber energinya. Daya listrik yang digunakan KRL disuplai melalui kawat konduktor di sepanjang lintasan KRL tersebut yang dinamakan sistem *catenary* atau listrik aliran atas. Suplai listrik untuk KRL tersebut diatur dan dikendalikan di gardu traksi. Selain ramah lingkungan, KRL juga memiliki banyak keunggulan dibanding dengan Kereta diesel biasa atau KRDE diantaranya dapat mengangkut penumpang dalam jumlah banyak, harganya terjangkau dan tidak perlu mengantri membeli tiket. Waktu tempuh KRL Yogyakarta - Solo juga lebih efisien, untuk satu kali perjalanan membutuhkan waktu 68 menit dan berhenti di 11 titik stasiun.

Ada 2 seri KRL yang digunakan di lintas Yogyakarta – Solo, yang kapasitasnya bisa mencapai 600 penumpang tiap set kereta. Satu set kereta terdiri dari 4 gerbong, lintas Yogyakarta – Solo saat ini paling maksimal menggunakan 2 set kereta atau 8 gerbong. 2 bulan semenjak beroperasi jumlah penumpang KRL terus mengalami peningkatan, sedangkan selama pandemi covid-19 menurut PM No 41 Tahun 2020 kapasitas penumpang KRL dibatasi kurang dari 50%. Hal tersebut membuat PT KCI selaku operator KRL Yogyakarta - Solo menambah jumlah pemberangkatan kereta per harinya.

Penambahan jadwal pemberangkatan ini diprediksi akan terjadi lagi jika dilihat dari lonjakan penumpang yang signifikan dan KRL juga harus mengurangi kapasitas untuk tetap menerapkan protokol kesehatan selama pandemi. Penambahan jadwal KRL Yogyakarta – Solo harus dipertimbangkan dalam berbagai aspek, salah satunya adalah suplai daya listrik dari gardu traksi harus tetap mencukupi untuk memenuhi kebutuhan KRL yang melintas. Hal inilah yang melatarbelakangi penulis melakukan penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan kapasitas daya gardu traksi terhadap pembebanan pengoperasian KRL Yogyakarta – Solo.

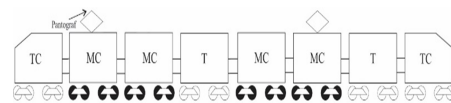


**Gambar 1:** Rangkaian KRL SF 4

#### i. Kereta Rel Listrik

KRL adalah kereta yang tidak memerlukan lokomotif penarik karena menggunakan listrik sebagai penggerakannya. Sumber listrik untuk suplai KRL tersedia melau-

lui sistem *catenary* atau listrik aliran atas bertegangan  $1500 V_{DC}$  yang disuplai dari gardu traksi. Setiap set rangkaian KRL yang ada di Indonesia terdiri dari 4 gerbong, yaitu 2 TC (*Trailer Car*) atau kereta tanpa penggerak dengan kabin masinis dan 2 MC (*Motor Car*) sebagai penggerak yang dilengkapi dengan pantograf dan motor traksi. Pantograf digunakan untuk menerima suplai daya dari sistem *catenary* lalu disalurkan ke motor traksi untuk menggerakkan KRL [1–5]. Jenis motor traksi yang digunakan pada KRL pada umumnya menggunakan motor traksi jenis AC, untuk itu sebelum masuk ke motor traksi tegangan diubah dulu menjadi AC dengan menggunakan inverter. Jenis inverter yang digunakan adalah VVVF (*Variable Voltage Variable Frequency*) yang bisa digunakan untuk mengatur kecepatan motor traksi dengan mengubah tegangan dan frekuensinya. Satu *motor car* biasanya terdapat 4 motor traksi. Selain untuk suplai motor traksi, tegangan  $1500 V_{DC}$  juga mensuplai ke sistem daya *auxiliary*. Sistem *auxiliary* digunakan untuk suplai tegangan 380 V berupa motor kompresor, AC, penerangan dan kontrol kereta. Sistem pengubah tegangan  $1500 V_{DC}$  ke  $380 V_{AC}$  digunakan inverter berjenis SIV (*Static Inverter*) [6–15].



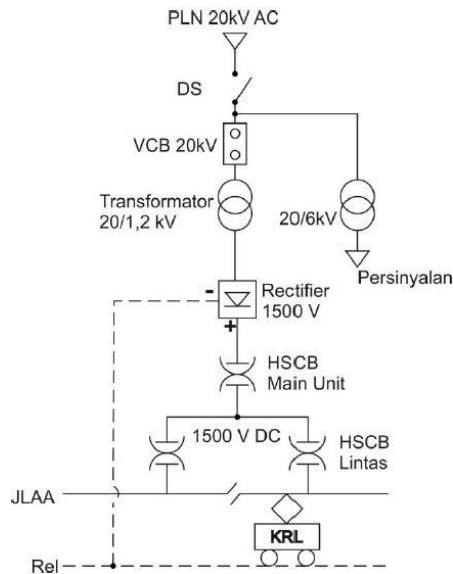
**Gambar 2:** Rangkaian KRL SF 8

Gambar 2 merupakan rangkaian 2 set kereta atau kereta 8 SF (stam formasi) dimana terdapat 2 TC, 4 MC dan 2 T (*Trailer*) yaitu kereta tanpa penggerak dan kabin. Pada rangkaian SF 8 tetap menggunakan 2 pantograf dengan jumlah total motor traksi 16 dan 2 *auxiliary*.

#### ii. Gardu Traksi KRL

Sistem elektrifikasi yang digunakan KRL menggunakan tegangan  $1500 V_{DC}$  melalui jaringan *catenary* yang mendapatkan suplai dari gardu traksi. Gardu traksi sebelum menghasilkan tegangan  $1500 V_{DC}$  harus melewati beberapa tahapan karena gardu traksi sendiri mendapatkan suplai tegangan dari PLN sebesar 20 kV. Sistem penyuplaian daya gardu traksi untuk jaringan *catenary* menggunakan sistem penyuplaian dua sisi, yaitu suplai daya KRL didapat dari 2 gardu traksi yang bersebelahan untuk satu petak jalan [16–18]. Komponen utama yang ada di gardu traksi antara lain:

1. Kubikel 20 kV



Gambar 3: Wiring Diagram

Kubikel 20 kV adalah gabungan dari beberapa komponen yang memiliki fungsi sebagai pembagi, pemutus, penghubung, pengontrol sekaligus proteksi sistem saluran tegangan 20 kV. Kubikel 20 kV terdiri dari beberapa panel yaitu panel incoming, arrester, metering, outgoing, coupler dan PDL (Power Distribution Line). Komponen dalam panel panel tersebut diantaranya adalah Load Breaking Switch (LBS), Vacuum Circuit Breaker (VCB), Disconnecting Switch (DS), Potential Transformator (PT), Current Transformator (CT) dan Grounding Switch (GS).

## 2. Transformator

Transformator yang digunakan di gardu traksi adalah transformator *stepdown*, yang digunakan untuk menurunkan tegangan 20 kV ke 1200 V. Ada juga transformator 20 kV/380 V yang digunakan untuk menyuplai persinyalan dan sistem kontrol gardu traksi.

## 3. Silicon Rectifier

*Silicon rectifier* digunakan untuk menyearahkan tegangan dari 1200  $V_{ac}$  menjadi 1500  $V_{dc}$ . Penyearah yang digunakan di gardu traksi adalah penyearah 12 pulsa, sehingga diperlukan 2 buah input 1200  $V_{ac}$  dari transformator.

## 4. Panel Negatif

Panel negatif digunakan untuk menyalurkan tegangan negatif dari *silicon rectifier* ke rel kereta.

## 5. Kubikel 1500 $V_{dc}$

Digunakan untuk mengatur keluaran dari tegangan 1500  $V_{dc}$  yang dibagi menjadi beberapa panel diantaranya panel *main feeder*, 4 panel *DC feeder*

untuk suplai LAA bagian hulu dan hilir, dan panel *bypass* sebagai *feeder backup* apabila ada *DC feeder* hulu atau hilir mengalami gangguan. Dalam setiap panel *feeder* terdapat *HSCB (High Speed Circuit Breaker)* yang digunakan untuk memutus tegangan dari LAA apabila terjadi gangguan.

### iii. Kapasitas Daya Pada Gardu Traksi

Referensi [16–20] menyatakan untuk menghitung kapasitas gardu traksi dengan pendekatan empiris, menggunakan rumus-rumus di bawah ini:

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

dengan  $Y$  adalah beban maksimum dalam satuan (kW),  $C$  adalah susunan rangkaian (set),  $D$  adalah jarak pengisian gardu traksi (km),  $H$  adalah *headway* (menit),  $N$  adalah jenis jalur (bernilai 2 untuk *double track* dan 1 untuk *single track*),  $P$  adalah rasio konsumsi kereta (50 kWh/1000 ton km), dan  $W$  adalah berat total KRL ditambah berat total penumpang (kapasitas 200%) dengan asumsi rata – rata berat penumpang 60 kg/orang.

Rumus untuk mencari arus maksimum kereta ditunjukkan pada Persamaan 2

$$I_m = \frac{P_T}{V_N} \quad (2)$$

dengan  $P_T$  adalah total daya, dan  $V_N$  adalah tegangan nominal.

Total daya adalah perkalian dari daya motor traksi dengan daya *auxiliary* seperti tertulis dalam Persamaan 3.

$$P_T = P_R \times P_A \quad (3)$$

dengan  $P_R$  adalah daya motor traksi, dan  $P_A$  adalah daya *auxiliary*.

Rumus untuk mencari beban puncak sesaat berdasarkan *headway* ditunjukkan pada Persamaan 4.

$$Z_1 = Y + C_m \sqrt{Y} \quad (4)$$

Rumus untuk mencari beban puncak sesaat berdasarkan arus maksimum ditunjukkan pada Persamaan 5.

$$Z_2 = 1,5kV \times 2I_m [1 - \alpha] \quad (5)$$

Rumus kapasitas yang dibutuhkan gardu traksi ditunjukkan pada Persamaan 6 atau Persamaan 7.

$$Z_n = \frac{Z_1}{2,5} \quad \text{jika } Z_1 > Z_2 \quad (6)$$

atau

$$Z_n = \frac{Z_2}{2,5} \quad \text{jika } Z_2 > Z_1 \quad (7)$$

dengan  $Z_1$  adalah beban puncak sesaat berdasarkan *headway* (kW),  $Z_n$  adalah kapasitas yang dibutuhkan gardu traksi,  $C_m$  adalah faktor elektrifikasi DC  $1,7\sqrt{I_m}$ ,  $\alpha$  adalah rasio pembagian arus 0,08, dan  $I_m$  adalah arus maksimum KRL (A).

#### iv. *Headway*

*Headway* adalah selisih waktu antara saat bagian depan kereta melewati titik stasiun sampai dengan saat bagian depan kereta selanjutnya sampai di titik stasiun yang sama. *Headway* dinyatakan dalam satuan menit [16, 18].

## II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu dengan mengumpulkan data - data terkait gardu traksi dan KRL Yogyakarta - Solo. Berdasarkan data - data yang diperoleh dilakukan perhitungan kapasitas gardu traksi dengan pendekatan empiris. Kapasitas gardu traksi dihitung berdasarkan penyempitan *headway*. Hasil dari perhitungan kapasitas gardu akan dibandingkan dengan kapasitas yang tersedia. Jenis KRL yang digunakan dalam perhitungan menggunakan KRL yang konsumsi dayanya paling besar untuk mengetahui kondisi pembebanan maksimum gardu traksi. Tahapan penelitian yang digunakan penulis yaitu:

### 1. Studi literatur

Studi literatur adalah tahap mempelajari segala hal mengenai topik penelitian dari sumber yang akurat seperti jurnal ilmiah, internet dan buku.

### 2. Pengambilan data

Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah data spesifikasi teknis KRL, jadwal perjalanan KRL Yogyakarta – Solo, spesifikasi teknis gardu traksi Yogyakarta – Solo, jarak pengisian antar gardu. Pengambilan data dilakukan dengan cara mengirim email ke PT. KCI dan melakukan kunjungan atau survei langsung ke *Stabling* KRL di Stasiun Klaten untuk memperoleh data - data terkait KRL. Data - data mengenai gardu traksi didapat dengan melakukan kunjungan dan survei ke gardu traksi Yogyakarta – Solo.

### 3. Perhitungan kapasitas daya gardu traksi

Data - data yang diperoleh akan diolah dengan menggunakan metode analisis kuantitatif untuk menghitung kapasitas daya gardu traksi Yogyakarta - Solo

### 4. Analisis data

Analisis ini mengamati hasil perhitungan kemampuan kapasitas gardu traksi dan akan dilakukan

perbandingan terhadap kapasitas yang tersedia di gardu traksi Yogyakarta – Solo.

**Tabel 1:** Standar pembebanan transformator

No	Pembebanan	Waktu
1	100 %	Terus-menerus
2	150%	2 jam
3	200%	5 menit
4	300%	1 menit

## III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

### i. *Kapasitas Gardu Traksi Yogyakarta - Solo*

Peralatan dan komponen di semua gardu traksi Yogyakarta – Solo mempunyai spesifikasi yang sama, untuk itu kapasitas yang tersedia di setiap gardu traksi memiliki nilai yang sama. Semua gardu traksi memperoleh daya dari PLN sebesar 5540 kVA dengan tegangan 20 kV dan setiap gardu terdapat transformator sebesar 4420 kVA, *silicon rectifier* 4000 kW dan menghasilkan tegangan 1500  $V_{DC}$ . Menurut PM No. 50 tahun 2018, transformator pada gardu traksi harus mampu bekerja dalam keadaan beban seperti yang terlihat dalam Tabel 1.

### ii. *Cover Area Gardu Traksi Yogyakarta - Solo*

*Cover area* atau jarak pengisian merupakan jarak yang harus disuplai setiap gardu, dengan mekanisme pembagian jarak 50 : 50 terhadap gardu di sebelahnya.

### iii. *Spesifikasi Teknis KRL Yogyakarta - Solo*

Total berat KRL dihitung berdasarkan berat kosong kereta ditambah dengan berat penumpang dengan kapasitas 200% dan asumsi rata - rata berat penumpang 60 kg/orang seperti yang terlihat dalam Tabel 3.

Konsumsi daya dan arus KRL dihitung berdasarkan jumlah motor traksi dikali dengan daya traksi/motor kemudian dijumlahkan dengan daya *auxiliary*. Total arus didapat dari total daya dibagi dengan tegangan kerja yaitu 1500  $V_{DC}$  seperti yang terlihat dalam Tabel 4.

### iv. *Perhitungan Kapasitas Gardu Traksi*

Jenis kereta yang digunakan pada perhitungan adalah KFW I9000 SF 8 dengan arus maksimum sebesar 2346,6 ampere dan beban puncak berdasarkan arus

**Tabel 2:** Jarak Antar Gardu Traksi Dan *Cover Area*

No	Gardu Traksi	Jarak Antar Gardu (km)	<i>Cover Area</i> (km)
1	Lempuyangan	6,799	4,706
2	Maguwo	7,905	7,352
3	Brambanan	5,850	6,877
4	Srowot	6,738	6,294
5	Klaten	9,279	8,008
6	Ceper	11,814	10,546
7	Gawok	6,639	9,226
8	Purwosari		4,787

**Tabel 3:** Total berat KRL

No	Seri KRL	SF	Berat (Ton)	Kapasitas	Total (Ton)
1	KFW I9000	4	118	560	185,2
		8	236	1136	372,3
2	JR 205	4	106	670	186,4
		8	212	1340	372,8

**Tabel 4:** Konsumsi daya dan arus KRL

No	Seri KRL	SF	Traksi	$P_R$ (kW)	$P_A$ (kW)	$P_T$ (kW)	$I_T$ (A)
1	KFW I9000	4	8	200	160	1760	1173,3
		8	16	200	320	3520	2346,6
2	JR 205	4	8	120	152	1112	741,3
		8	16	120	304	2224	1482,6

**Tabel 5:** Perhitungan kapasitas gardu traksi *headway* 30 menit

No	Gardu Traksi	D (km)	Y (kW)	$Z_1$ (kW)	$Z_n$ (kW)
1	Lempuyangan	4,706	700,817	2880,864	2878,495
2	Maguwo	7,352	1094,859	3819,709	2878,495
3	Brambanan	6,877	1024,122	3659,478	2878,495
4	Srowot	6,294	937,302	3458,479	2878,495
5	Klaten	8,008	1192,551	4036,370	2878,495
6	Ceper	10,546	1570,510	4834,012	2878,495
7	Gawok	9,226	1373,935	4426,371	2878,495
8	Purwosari	4,787	712,880	2911,609	2878,495

**Tabel 6:** Perhitungan kapasitas gardu traksi *headway* 15 menit

No	Gardu Traksi	D (km)	Y (kW)	$Z_1$ (kW)	$Z_n$ (kW)
1	Lempuyangan	4,706	1401,635	4484,688	2878,495
2	Maguwo	7,352	2189,719	6043,240	2878,495
3	Brambanan	6,877	2048,245	5775,203	2878,495
4	Srowot	6,294	1874,604	5440,087	2878,495
5	Klaten	8,008	2385,102	6506,870	2891,942
6	Ceper	10,546	3141,020	7756,309	3447,248
7	Gawok	9,226	2747,871	7064,669	3139,852
8	Purwosari	4,787	1425,760	4535,233	2878,495

maksimum tersebut adalah 6476,616 kilowatt. Tabel 5,

**Tabel 7:** Perhitungan kapasitas gardu traksi *headway* 11 menit

No	Gardu Traksi	D (km)	Y (kW)	$Z_1$ (kW)	$Z_n$ (kW)
1	Lempuyangan	4,706	1911,320	5511,550	2878,495
2	Maguwo	7,352	2985,981	7485,925	3327,077
3	Brambanan	6,877	2793,062	7145,212	3175,649
4	Srowot	6,294	2556,279	6719,866	2986,607
5	Klaten	8,008	3252,412	7948,826	3532,811
6	Ceper	10,546	4283,209	9672,706	4298,980
7	Gawok	9,226	3747,097	8788,031	3905,791
8	Purwosari	4,787	1944,218	5575,300	2878,495

**Tabel 8:** Perhitungan kapasitas gardu traksi *headway* 10 menit

No	Gardu Traksi	D (km)	Y (kW)	$Z_1$ (kW)	$Z_n$ (kW)
1	Lempuyangan	4,706	2102,452	5878,405	2878,495
2	Maguwo	7,352	3284,579	8004,160	3557,404
3	Brambanan	6,877	3072,368	7636,941	3394,196
4	Srowot	6,294	2811,907	7178,714	3190,539
5	Klaten	8,008	3577,654	8503,295	3779,242
6	Ceper	10,546	4711,530	10364,082	4606,258
7	Gawok	9,226	4121,807	9408,784	4181,681
8	Purwosari	4,787	2138,640	5946,951	2878,495

6, 7, 8, 9, 10 menunjukkan hasil perhitungan kapasitas 8 gardu traksi Yogyakarta – Solo dengan penyempitan *headway* 30 menit, 15 menit, 11 menit, 10 menit, 8 menit, dan 7 menit.

**Tabel 9:** Perhitungan kapasitas gardu traksi *headway* 8 menit

No	Gardu Traksi	D (km)	Y (kW)	$Z_1$ (kW)	$Z_n$ (kW)
1	Lempuyangan	4,706	2628,065	6849,709	3044,315
2	Maguwo	7,352	4105,724	9382,376	4169,944
3	Brambanan	6,877	3840,460	8943,808	3975,025
4	Srowot	6,294	3514,884	8397,123	3732,054
5	Klaten	8,008	4472,067	9979,100	4435,155
6	Ceper	10,546	5889,413	12209,158	5426,292
7	Gawok	9,226	5152,259	11063,279	4917,012
8	Purwosari	4,787	2673,300	6931,121	3080,498

**Tabel 10:** Perhitungan kapasitas gardu traksi *headway* 7 menit

No	Gardu Traksi	D (km)	Y (kW)	$Z_1$ (kW)	$Z_n$ (kW)
1	Lempuyangan	4,706	3003,503	7516,630	3340,724
2	Maguwo	7,352	4692,256	10333,234	4592,548
3	Brambanan	6,877	4389,097	9844,805	4375,468
4	Srowot	6,294	4017,010	9236,343	4105,041
5	Klaten	8,008	5110,934	10998,201	4888,089
6	Ceper	10,546	6730,758	13486,850	5994,155
7	Gawok	9,226	5888,296	12207,442	5425,529
8	Purwosari	4,787	3055,200	7607,002	3380,889

Dengan  $D$  adalah jarak pengisian (km),  $Y$  adalah

beban maksimum (kW),  $Z_1$  adalah beban puncak sesaat berdasarkan *headway* (kW),  $Z_2$  adalah beban puncak sesaat berdasarkan arus maksimum (kW), dan  $Z_n$  adalah beban yang dibutuhkan (kVA).

#### v. Perbandingan Hasil Perhitungan Dengan Kapasitas yang Tersedia di Gardu Traksi

Berdasarkan hasil perhitungan di atas maka dapat dilakukan perbandingan antara kapasitas gardu traksi yang tersedia dengan hasil perhitungan. Tabel 11 menunjukkan hasil perbandingannya dengan menggunakan gardu traksi Ceper sebagai acuan, karena memiliki *cover area* terbesar dibandingkan dengan gardu traksi lainnya.

**Tabel 11:** Perbandingan kapasitas tersedia dengan kapasitas perhitungan gardu traksi Ceper

No	$Z_s$ (kVA)	H (Menit)	$Z_h$ (kVA)	Keterangan
1	4420	30	2878,495	Cukup
2	4420	15	3447,248	Cukup
3	4420	12	4038,360	Cukup
4	4420	10	4606,258	Cukup 2 jam
5	4420	7,5	5692,909	Cukup 2 jam
6	4420	5	7740,878	Cukup 5 menit

Dengan notasi:  $Z_s$  adalah kapasitas tersedia (kVA),  $H$  adalah *headway*, dan  $Z_h$  adalah kapasitas perhitungan (kVA).

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

*Cover area* gardu traksi Ceper merupakan yang terbesar diantara gardu traksi lain yaitu sepanjang 10,546 km. Jenis KRL yang konsumsi dayanya paling tinggi di lintas Yogyakarta – Solo adalah KRL KFW I9000 SF 8 dengan penggunaan daya 3520 kW dan arus sebesar 2346,6 A. Kapasitas gardu traksi Yogyakarta – Solo mampu menyuplai beban KRL hingga *headway* 11 menit secara terus menerus dan hingga *headway* 8 menit dengan batasan waktu selama 2 jam. Kapasitas gardu traksi Yogyakarta – Solo tidak sanggup menyuplai beban KRL dengan *headway* 7 menit.

Jadwal perjalanan KRL Yogyakarta – Solo setiap jamnya tidak konstan. Jadwal perjalanan tersebut jika diasumsikan dengan sistem *headway* maka kurang lebih *headway* yang digunakan adalah 60 menit. Apabila terjadi lonjakan jumlah penumpang dan KRL harus mengurangi kapasitas penumpang selama pandemi PT. KCI bisa menambah jadwal perjalanan KRL Yogyakarta – Solo sampai dengan *headway* 11 menit.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Haroen, "Sistem transportasi elektrik," 2017.
- [2] S. S. Williamson, A. K. Rathore, dan F. Musavi, "Industrial electronics for electric transportation: Current state-of-the-art and future challenges," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 5, pp. 3021–3032, 2015.
- [3] K. Turcheniuk, D. Bondarev, G. G. Amatucci, dan G. Yushin, "Battery materials for low-cost electric transportation," *Materials Today*, vol. 42, pp. 57–72, 2021.
- [4] F. Ahmad, M. Khalid, dan B. K. Panigrahi, "Development in energy storage system for electric transportation: A comprehensive review," *Journal of Energy Storage*, vol. 43, p. 103153, 2021.
- [5] A. Praneeth dan S. S. Williamson, "A review of front end ac-dc topologies in universal battery charger for electric transportation," in *2018 IEEE transportation electrification conference and expo (ITEC)*. IEEE, 2018, pp. 293–298.
- [6] H. I. Arjiansah dan U. Umar, "Penggunaan suplai daya rel ketiga dan rugi-rugi sistem propulsi pada light rail transit (lrt)," *Rekayasa Aplikasi Perancangan dan Industri*, pp. 167–174, 2021.
- [7] F. Ferbrache dan R. D. Knowles, "City boosterism and place-making with light rail transit: A critical review of light rail impacts on city image and quality," *Geoforum*, vol. 80, pp. 103–113, 2017.
- [8] A. Rupp, H. Baier, P. Mertiny, dan M. Secanell, "Analysis of a flywheel energy storage system for light rail transit," *Energy*, vol. 107, pp. 625–638, 2016.
- [9] S. O. Tehrani, S. J. Wu, dan J. D. Roberts, "The color of health: residential segregation, light rail transit developments, and gentrification in the united states," *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, no. 19, p. 3683, 2019.
- [10] A. Hong, M. G. Boarnet, dan D. Houston, "New light rail transit and active travel: A longitudinal study," *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, vol. 92, pp. 131–144, 2016.
- [11] M. Ulkhaq, A. Widodo, N. Izati, S. Santoso, W. Sutrimo, dan P. Akshintia, "Assessing the operations of commuter rail: A case study in krl commuter line of jakarta metropolitan area," in *MATEC Web of Conferences*, vol. 272. EDP Sciences, 2019, p. 01034.
- [12] I. C. Sari dan Y. Ruldeviyani, "Sentiment analysis of the covid-19 virus infection in indonesian public transportation on twitter data: A case study of commuter line passengers," in *2020 International Workshop on Big Data and Information Security (IWBIS)*. IEEE, 2020, pp. 23–28.
- [13] N. T. Romadloni, I. Santoso, dan S. Budilaksono, "Perbandingan metode naïve bayes, knn dan decision tree terhadap analisis sentimen transportasi krl commuter line," *IKRA-ITH INFORMATIKA: Jurnal Komputer dan Informatika*, vol. 3, no. 2, pp. 1–9, 2019.
- [14] U. Yudho, "Sistem propulsi pada kereta rel listrik di depo krl depok."
- [15] M. A. Umar, M. T. Alawiy, dan B. D. Sulo, "Studi kelayakan teknis kereta cepat pada rel kereta api listrik (commuter line) di indonesia," *SCIENCE ELECTRO*, vol. 13, no. 2, 2021.

- [16] I. Sari, P. Pawenary, dan M. N. Qosim, “Studi perencanaan kapasitas gardu traksi klender untuk operasional kereta rel listrik (krl) lintas jatinegara-bekasi,” Ph.D. dissertation, INSTITUT TEKNOLOGI PLN, 2020.
- [17] A. Saputra, “Studi evaluasi analisa perhitungan kapasitas daya gardu traksi terhadap kebutuhan krl jalur depok-manggarai,” *EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)*, vol. 2, no. 2, pp. 131–138, 2019.
- [18] C. Wicaksono, A. Putri *et al.*, “Analisa daya dukung gardu traksi kranji pada pengoperasian kereta bandara soekarno-hatta,” *J. Perkeretaapi. Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 76–82, 2018.
- [19] H. Dwiatmoko, “Pengujian fasilitas operasi kereta api,” *Jakarta: Kencana*, 2016.
- [20] A. Saputra, “Studi evaluasi analisa perhitungan kapasitas daya gardu traksi terhadap kebutuhan krl jalur depok-manggarai,” *EPIC (Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control)*, vol. 2, no. 2, pp. 131–138, 2019.