

STUDI TENTANG KELISTRIKAN PADA SISTEM KERETA REL LISTRIK

Sugianto¹, Hafidz Ahnap Alfiansyah², Poedji Oetomo³
Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains Dan Teknologi Nasional
Jl. Moh. Kahfi II, Jagakarsa, Jakarta 12640 Indonesia.
sugiantoistn13@gmail.com

ABSTRAK

Kereta rel listrik (KRL) merupakan bentuk pengaplikasian dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang transportasi sehingga KRL dapat menggantikan moda transportasi yang menggunakan batu bara maupun menggunakan diesel. Saat ini kereta rel listrik di Indonesia merupakan salah satu moda transportasi yang paling banyak digunakan setiap harinya untuk beraktifitas mulai dari transportasi untuk sekolah dan kuliah sampai transportasi yang digunakan untuk berangkat kerja dan aktifitas penting lainnya. Penumpang kereta rel listrik setiap tahunnya di Indonesia semakin meningkat, dimulai dari angka 100 ribu penumpang perhari hingga diprediksi dapat menjadi 1 juta penumpang perharinya. Kapasitas maksimal dari 5 Gardu traksi (GT) yaitu GT Cawang, Duren Kalibata, Pasar Minggu, Tanjung Barat, Lenteng Agung masih dapat dikategorikan dapat digunakan sesuai dengan kapasitasnya, dengan selisih antara kapasitas daya output antara kapasitas tersedia dengan kapasitas hasil perhitungan hanya terpaut selisih 3.75 – 4.85 % yang menunjukkan angka $\leq 5\%$ dari aturan yang ada. Gardu traksi (GT) Cawang, Duren Kalibata, Pasar Minggu, Tanjung Barat, Lenteng Agung masih bekerja sesuai dengan kapasitas daya output yang tersedia Ketika digunakan headway tercepat selama 6 menit (± 20 kereta/jam) dengan interval penggunaan daya gardu 51.81 – 81.3% dari kapasitasnya. Dengan kondisi kapasitas daya output tersedia saat ini, penyempitan waktu headway masih belum dapat dilakukan karena terdapat beberapa gardu yang menanggung beban daya melebihi kapasitasnya pada waktu tercepat 4 menit, GT Pasar Minggu beban daya perjam melebihi kapasitas dan dengan waktu 3 menit, GT Pasar Minggu dan GT Lenteng Agung beban data per jam melebihi kapasitas.

Kata kunci : Gardu Traksi, KRL, Jaringan Aliran Atas..

ABSTRACT

Electric Rail Train (ERT) is a form of application of the development of science and technology in the field of transportation so that KRL can replace transportation modes that use coal or use diesel. Currently, electric trains in Indonesia are one of the most widely used modes of transportation every day for activities ranging from transportation for schools and colleges to transportation used to go to work and other important activities. Passengers of electric trains every year in Indonesia are increasing, starting from the number of 100 thousand passengers per day until it is predicted to be 1 million passengers per day. The maximum capacity of 5 traction substations (GT), namely Cawang GT, Duren Kalibata, Pasar Minggu, Tanjung Barat, Lenteng Agung can still be categorized as usable according to their capacity, with the difference between the output power capacity between the available capacity and the calculated capacity being only 3.75 – 4.85% which shows the number 5% of the existing rules. Traction substations (GT) Cawang, Duren Kalibata, Pasar Minggu, Tanjung Barat, Lenteng Agung still work according to the available output power capacity When the fastest headway is used for 6 minutes (± 20 trains/hour) with an interval of 51.81 – 81.3% substation power usage of its capacity. With the current available output power capacity, headway time is still not possible because there are several substations that carry power loads exceeding their capacity in the fastest time of 4 minutes, GT Pasar Minggu, the hourly power load exceeds capacity and with a time of 3 minutes, GT Pasar Minggu and GT Lenteng Agung hourly data load exceeds capacity.

Keywords : Traction Substation, KRL, Upstream Network

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Kereta rel listrik (KRL) merupakan bentuk pengaplikasian dari perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi dibidang transportasi

sehingga dapat meninggalkan moda transportasi yang menggunakan batu bara maupun menggunakan diesel. Saat ini kereta rel listrik di Indonesia merupakan salah satu moda transportasi yang paling banyak digunakan setiap harinya untuk beraktifitas mulai dari transportasi untuk sekolah dan kuliah sampai transportasi

yang digunakan untuk berangkat kerja dan aktifitas penting lainnya. Penumpang kereta rel listrik setiap tahunnya di Indonesia semakin meningkat, dimulai dari angka 100 ribu penumpang perhari hingga diprediksi dapat menjadi 1 juta penumpang perharinya.

Dibalik Keuntungan yang diberikan, ternyata terdapat beberapa masalah yang harus dihadapi PT. Kereta Api Indonesia (Persero) dalam memenuhi keinginan dan minat warga dalam menggunakan kendaraan kereta rel listrik. Salah satu dari permasalahan tersebut adalah, masalah elektrifikasi digunakan sebagai sumber daya suplai kereta rel listrik saat ini. Untuk saat ini kondisi listrik aliran atas yang digunakan sebagai catu daya dari kereta rel listrik masih dikategorikan cukup untuk memenuhi keberangkatan sejumlah armada kereta setiap harinya. Namun seiring dengan bertambahnya jumlah penumpang kereta rel listrik, maka kebutuhan akan jumlah jadwal keberangkatan pun bertambah setiap jamnya, jumlah kereta rel listrik yang diberangkatkan pun semakin bertambah. Tentu hal ini harus segera disiasati dengan baik dimana pemenuhan akan kapasitas gardu traksi harus segera ditingkatkan dengan pula diiringi oleh peningkatan kualitas jaringan listrik aliran atas sebagai penghubung antara gardu traksi dengan kereta rel listrik.

Berdasarkan uraian diatas dimana tujuan penelitian yakni analisa perhitungan kapasitas daya gardu traksi pada KRL yang berada di wilayah UPT Resor 1.11 Pasar Minggu yang terdiri dari 5 gardu traksi yaitu gardu traksi Cawang, gardu traksi Duren Kalibata, gardu traksi Pasar Minggu, gardu traksi Tanjung Barat, dan gardu traksi Lenteng Agung dengan menggunakan metode perhitungan pemakaian daya per-jam berdasarkan waktu *headway*. Hasil dari analisis ini akan menghasilkan keluaran berupa evaluasi kapasitas daya gardu – gardu yang ada. Metode perhitungan kapasitas daya gardu listrik sebagai suplai kereta rel listrik yang digunakan adalah perhitungan untuk sistem elektrifikasi DC.

II. SUMBER DAYA DAN PERALATAN

2.1 Jenis Daya

Dalam pengaplikasian suplai daya listrik bagi Kereta Rel Listrik (KRL), dibutuhkan daya yang dapat diakses kapan saja, aman, ekonomis, dan mudah digunakan serta yang terpenting harus merupakan suplai daya listrik yang kontinu. Terdapat dua jenis daya yang dapat digunakan dalam kereta rel listrik, yaitu dapat berupa suplai AC dan DC. Pemilihan penggunaan suplai transmisi AC dan DC sepanjang jalur lintasan listrik aliran atas sangatlah penting.

AC (*Alternating Current*), merupakan arus yang memiliki arah bolak – balik sedangkan DC (*Direct Current*) hanya memiliki arus yang mengalir satu arah saja. Pada transmisi listrik secara umum, listrik AC lebih banyak digunakan karena listrik AC lebih mudah untuk dibangkitkan dan dinaikkan tegangannya sehingga untuk transmisi listrik cenderung lebih ekonomis dan mudah instalasinya untuk kondisi jarak jauh namun listrik AC pada kereta cenderung lebih sulit untuk dikendalikan dibanding listrik DC.

2.2 Sistem Elektrifikasi AC

Elektrifikasi merupakan proses pemberian daya listrik yang berasal dari suplai kepada beban listrik. Elektrifikasi pada kereta rel listrik disebut listrik aliran atas (*catenary*) dimana suplai daya diberikan dari gardu traksi dan ditransmisikan pada jalur lintasan kawat troli hingga digunakan oleh beban kereta listrik yang contohnya adalah beban motor dan fasilitas lainnya.

Sistem Elektrifikasi dibagi menjadi dua berdasarkan jenis arus listrik yang digunakan :

1. Elektrifikasi AC : 15 kV 60 Hz dan 25 kV 50 Hz
2. Elektrifikasi DC : 750 V, 1500 V dan 3000 V

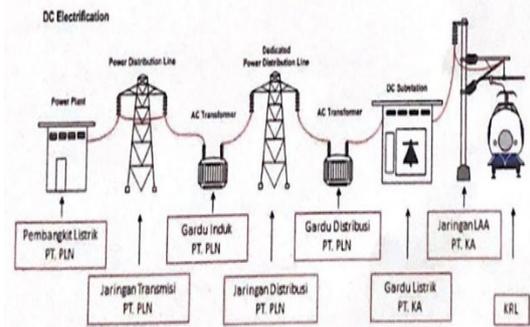
Sistem elektrifikasi yang digunakan oleh PT. Kereta Api Indonesia (KAI Persero) pada Kereta Rel Listrik (KRL) adalah system elektrifikasi DC 1500 V yang disuplai dari gardu traksi.

2.3 Sistem Tenaga Listrik DC

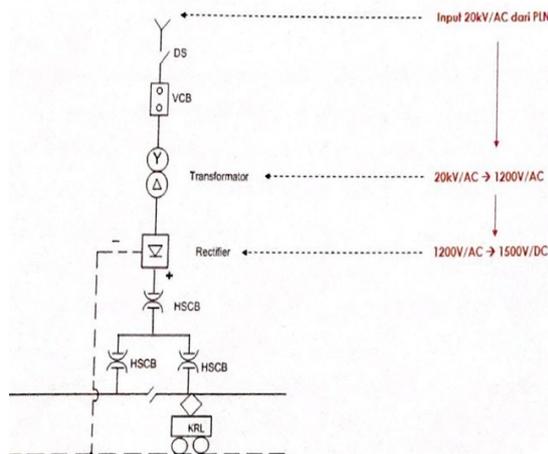
Kereta rel listrik khususnya kereta rel listrik milik PT. Kereta Api Indonesia (KAI Persero) yang beroperasi di Indonesia saat ini menggunakan sistem listrik aliran atas (*catenary*) dengan elektrifikasi arus searah (DC) dengan tegangan operasi 1500 V yang disuplai dari gardu traksi (*traction substation*). Tegangan listrik arus searah didapatkan dari hasil penyearahan dari suplai PLN yang masuk ke gardu traksi menggunakan sistem penyearahan *silicon rectifier*. Sistem gardu traksi yang beroperasi pada kereta rel listrik berisikan panel seperti : panel 20 kV, panel 6 kV, transformator 20 kV/1200 V, transformator 20 kV/6 kV, transformator 20 kV/380 V, transformator 6 kV/380 V, panel AC/DC, baterai dan charger, panel VCP, *silicon rectifier*, DC *Switchgear*, panel interkoneksi dan panel LBD.

Prinsip kerja dari sistem elektrifikasi DC utamanya adalah dengan mengubah listrik AC yang berasal dari suplai PLN sebesar 20 kV menjadi listrik DC 1500 V yang akan digunakan pada saluran listrik aliran atas. Sumber tegangan

20 kV awalnya melewati transformator pada gardu traksi dimana pada sisi *primer* transformator terdapat proteksi menggunakan VCB (*Vacuum Circuit Breaker*) dan DC (*Disconnecting Switch*). Transformator berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik dari 20 kV menjadi 1200 V, lalu listrik 1200 VAC tadi disearahkan dengan sistem penyearah menggunakan *silicon rectifier* menjadi listrik 1500 VDC.



Gambar 2.1 Sistem Elektrifikasi DC Pada KRL.



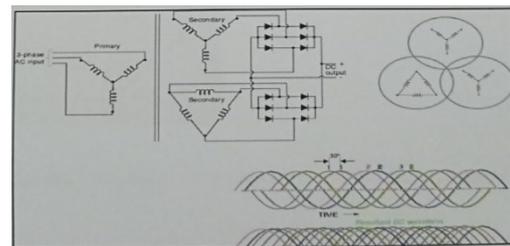
Gambar 2.2 Single Land Diagram Sederhana Sistem Elektrifikasi DC.

Pada eletrifikasi DC ini, polaritas positif (+) dihubungkan dengan jaringan saluran listrik aliran atas (LAA) yang dilengkapi dengan proteksi menggunakan HSCB (*High-Speed Circuit Breaker*). Biasanya pada suatu gardu traksi HSCB terdiri dari HSCB *main unit*, *standby unit*, *outgoing unit* seperti pada gambar 2.2. Kemudian polaritas (-) negative dihubungkan dengan rel kereta.

2.4 Silicon Rectifier

Salah satu komponen utama dari gardu traksi sistem elektrifikasi DC adalah sistem penyearah yang menggunakan *silicon rectifier* untuk menyearahkan tegangan 1200 VAC menjadi 1500 VDC. *Silicon rectifier* yang digunakan pada gardu traksi terdiri dari dua jenis yaitu SR 6

pulsadan 12 pulsa. *Silicon rectifier* menggunakan semikonduktor diode dan *silicon rectifier* yang digunakan pada gardu adalah jenis 12 pulsa dimana *input* dari *rectifier* ini adalah tegangan 1200 VAC dari sisi sekunder transformator 20 kV/1200 V. SR menggunakan sistem proteksi dengan menggunakan *arrester* pada jaringan listrik aliran atas untuk melindungi dari sambaran petir dan menggunakan *heatpipe* sebagai sistem pendinginan. *Duty class rectifier* yang digunakan harus memenuhi standar JEC- 2410 *class S*, dengan persyaratan pembebanan sebagai berikut: 100% - kontinu, 150% - selama 2 jam, 200% - selama 5 menit, 300% - selama 1 menit.



Gambar 2.3 Teori Silicon Rectifier 12 Pulsa.

2.5 Transformator

Transformator adalah mesin listrik yang berfungsi untuk mengubah level tegangan listrik arus bolak – balik (AC) dengan menggunakan suatu prinsip yang dinamakan induksi elektromagnetik. Transformator terdiri dari dua atau lebih lilitan yang dililitkan ke inti besi yang berbahan *feromagnetik*. Lilitan tersebut tidak terhubung satu sama lainnya. Koneksi antara lilitan tersebut dapat dilakukan melalui *fluks magnet* yang dihasilkan dalam inti besi. Salah satu lilitan terkoneksi dengan bahan lilitan ini disebut sisi sekunder. Terdapat dua jenis transformator berdasarkan pengubahan level tegangannya yaitu *transformator step-up* untuk menaikkan level tegangan dan *transformator step-down* untuk menurunkan level tegangan.

Pada gardu traksi sistem kereta rel listrik yang digunakan PT. Kereta Api Indonesia (KAI Persero), terdapat empat jenis transformator yang digunakan, salah satunya yaitu :

1. Transformator 20 kV/1200 V

Transformator ini digunakan untuk menurunkan tegangan utama dari sumber distribusi PLN 20 kV menjadi 1200 V. Pada transformator ini, sisi *primer* atau lilitan *primer* terdiri dari beberapa pilihan sisi *tapping* yaitu 22 kV, 21 kV, 20 kV, 19 kV dan 18 kV sedangkan pada sisi lilitan *sekunder*, terdiri dari dua lilitan tiga fasa dengan tegangan 1200 V. Kedua output ini memiliki konfigurasi *vector* yang berbeda untuk menjadi *input* penyearah *silicon rectifier* 12 pulsa. Konfigurasi transformator yang digunakan memiliki konfigurasi *delta* dan *output* memiliki

konfigurasi *delta* dan *wye*.



Gambar 2.4 Transformator 20 kV/1200V Gardu Traksi Pasar Minggu.

2.6 Gardu Hubung Kereta Rel Listrik

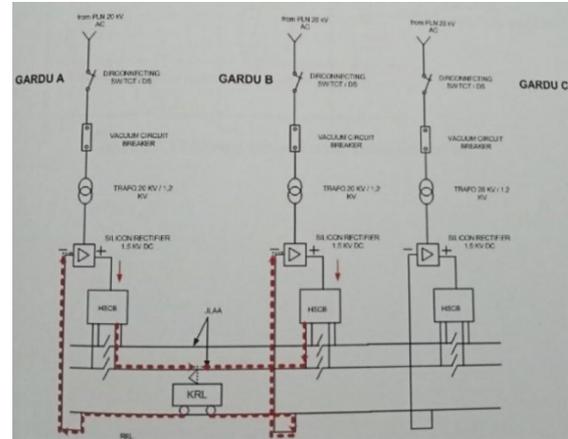
Pada sistem elektrifikasi DC kereta rel listrik, selain terdapat gardu listrik pada satu jalur lurus, sistem elektrifikasi DC ini juga memiliki gardu hubung atau *sectioning post* yang berfungsi untuk menghubungkan antar gardu listrik pada perlintasan kereta rel listrik yang memiliki percabangan seperti saat ini PT. Kereta Api Indonesia (KAI Persero) Daerah Operasi I Jakarta memiliki dua buah gardu hubung yang terletak pada stasiun manggarai dan stasiun pasar senen. Stasiun Manggarai memiliki 1 kubikal utama berupa DC *Circuit Breaker Cubicle* sebagai gardu hubung yang dimana kubikal ini tidak mendapatkan suplai dari listrik PLN melainkan mendapatkan suplai yang berasal dari gardu – gardu yang dihubungkannya.

Kubikal ini memiliki bagian lagi yang terdiri dari 12 kubikal dengan rincian 11 *cubicle outgoing unit* dan 1 *cubicle stand-by unit* dimana seperti standar sebelumnya di setiap kubikal dilengkapi dengan proteksi berupa HSCB, DS, dan *Lightning Arrester*. Pada gambar 2.5 merupakan ilustrasi dari prinsip kerja gardu hubung yang menghubungkan 2 gardu listrik pada titik percabangan.

Terlihat pada gambar 2.5 gardu A dan gardu B bekerja mensuplai kereta rel listrik secara paralel dimana polaritas negatif tegangan dihubungkan dengan rectifier pada masing – masing gardu hal ini dilakukan jika salah satu gardu tidak dapat beroperasi karena satu dan lain hal gangguan atau tidak dapat mensuplai kereta rel listrik, maka gardu lainnya yang paralel dapat digunakan untuk mensuplai kereta rel listrik pada jalur tersebut.

Pada gambar 2.5 merupakan ilustrasi yang terjadi apabila gardu B tidak dapat beroperasi, maka untuk membentuk sistem suplai 2 sisi dapat digunakan gardu C, sehingga operasi KRL yang berada di jalur tersebut dapat disupali dari gardu

A dan gardu C secara paralel. Aliran daya yang datang dari gardu C menggunakan perantara HSCB gardu B, sehingga arus listrik dapat dialirkan ke KRL. Tegangan negatif dari rel akan masuk ke *silicon rectifier* pada gardu A dan gardu C.



Gambar 2.5 Prinsip Kerja Gardu Hubung.

2.7 Sistem Jaringan Listrik Aliran Atas

Sistem saluran atas atau *Overhead Contact System* adalah saluran konduktor listrik untuk mentransmisikan dan mensuplai daya dari gardu listrik traksi ke motor listrik pada kereta rel listrik melalui *pantograph* atau gawai pengumpul arus. Sistem ini lebih sering dikenal dengan nama sistem *catenary*. Kabel biasanya memiliki Panjang 1 km sampai dengan 1,5 km antar tiang tergantung pada perubahan suhu. Desain kabel udara diciptakan sedemikian rupa sehingga dapat menahan ketegangan *horizontal* dan juga dikenakan ke lateral penarik sehingga dapat menahan lengkungan.

Overhead wire harus selalu berada didekat *pantograph* dan harus selalu menempel dengan *overhead wire* untuk menyuplai daya secara kontinyu, tidak terputus, dan dengan kualitas yang baik sepanjang waktu. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, peralatan *overhead* didesain dengan memperhatikan hal – hal berikut ini :

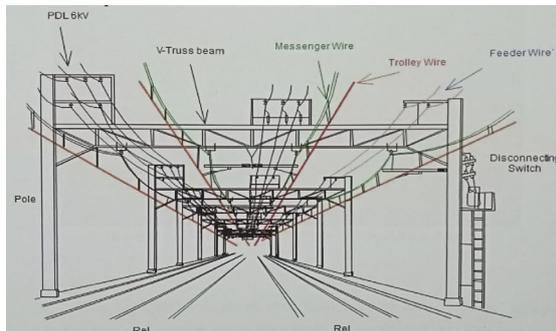
1. Harus sesuai dengan karakteristik kereta dan arus yang dibutuhkan.
2. Harus memiliki berat dan Panjang yang sama sepanjang jalur kereta untuk mengoptimalkan kerja dari *pantograph*
3. Minimum getaran dan gaya untuk memastikan *pantograph* berjalan mulus ketika kecepatan tinggi ataupun pada saat angin kencang.
4. Harus mempunyai kekuatan tahan terhadap getaran, korosi dan panas.

Sistem saluran listrik aliran atas memiliki

perbedaan spesifik dengan distribusi listrik pada umumnya diantaranya:

1. Beban berfluktuasi dan berpindah – pindah secara cepat karena perpindahan posisi kereta listrik (Motor Listrik).
2. Suplai daya antara kawat troli dengan *pantograph* untuk motor listrik tidak kontinyu.
3. Rel kereta digunakan sebagai saluran balik dari motor listrik ke gardu traksi yang menyebabkan salah satu sisi digunakan sebagai *grounding*.

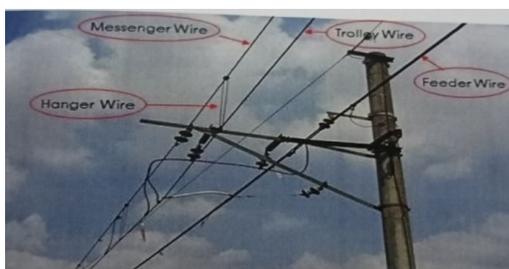
2.7.1 Jenis Kawat Pada Jaringan Listrik Aliran Atas



Gambar 2.6 Sistem Jaringan Listrik Aliran Atas

1. Messenger wire

Messenger wire pada suatu jaringan listrik aliran atas (LAA) memiliki fungsi untuk menahan atau memikul beban dari kawat troli (*Trolley Wire*) dan juga material lainnya. *Messenger wire* dapat digunakan baik pada *single trolley* maupun *double trolley*. Pada sistem *single trolley*, maka *messenger wire* harus memiliki jenis *straight tip* dengan luas penampang 90 mm² dan gaya tarik sebesar 100 N sedangkan pada sistem *double trolley* terdapat dua jenis yaitu bare conductor dengan luas penampang 150 mm² dan BZ 116.24 mm² dengan gaya tarik yang sama sebesar 100 N.



Gambar 2.7 Kawat Pada Jaringan Listrik Aliran Atas

2. Feeder Wire

Pada jaringan listrik aliran atas (LAA), feeder wire berfungsi sebagai penyulang atau saluran suplai daya listrik menuju kawat troli

(*trolley wire*). Pada feeder wire juga terbagi menjadi dua yaitu sistem *single trolley* dan *double trolley*. Pada *single trolley* kawat tembaga harus memiliki luas penampang 300 mm² dengan gaya tarik 1200 N, sedangkan untuk *double trolley* terdapat dua jenis yaitu dengan luas penampang 2x300 mm² atau 251.54 mm² dengan gaya tarik sebesar 1200 N.

3. Trolley Wire

Pada jaringan listrik aliran atas (LAA) kawat troli berfungsi sebagai suatu konduktor yang mengalirkan arus listrik dengan cara melakukan kontak dengan *pantograph* di kereta rel listrik (KRL). Pada *trolley wire* juga terbagi menjadi dua yaitu dengan sistem *single trolley* dan *double trolley*. Pada *single trolley* maka kawat tembaga harus memiliki luas penampang 110 mm² dengan gaya tarik 1000 N, sedangkan untuk *double trolley* maka kawat tembaga dengan luas penampang 2x17 mm² dengan gaya tarik 1000 N.

4. Hanger Wire

Pada jaringan listrik aliran atas (LLA) hanger wire berfungsi untuk menggantung kawat troli dan juga untuk mempertahankan kedudukan lurus kawat troli.

2.8 Sistem Proteksi Pada Kereta Rel Listrik

Jaringan listrik aliran atas (LAA) pada KRL juga memiliki alat proteksi untuk mengamankan jaringan dari gangguan yang dapat membahayakan peralatan dan komponen kereta.

Beberapa alat proteksi yang digunakan:

1. *High Speed Circuit Breaker (HSCB)*, merupakan pemutus tenaga tegangan DC yang berfungsi sebagai pengaman jaringan listrik dari arus hubung singkat (*Short Circuit*) dan beban berlebih (*Overload*).
2. *Lighting Arrester*, merupakan alat yang berfungsi untuk melindungi sistem tenaga listrik dari gangguan bahaya petir.
3. Kawat pentahanan atas (*Arching Horn*), merupakan peralatan yang berfungsi untuk membuang petir ke udara.
4. Sistem pentanahan (*Grounding*), merupakan sistem pengaman terhadap perangkat – perangkat yang menggunakan listrik sebagai sumber tenaga.

2.8.1 High Speed Circuit Breaker (HSCB)

High Speed Circuit Breaker (HSCB) merupakan circuit breaker yang dapat memutus aliran listrik kecepatan tinggi. HSCB ini bekerja seperti *air blast circuit breaker* yaitu pemutus tenaga yang menggunakan tekanan udara sebagai media dalam pemadaman busur api.

Pada pemadaman busur api ini, udara

bertekanan tinggi ditiup dengan kecepatan tinggi melintasi busur api. Sehingga pada saat kontak terbuka, maka dengan cepat air blast mengeluarkan tekanan udara, mendinginkan busur api, dan menyapu busur api hingga dapat memadamkan dan memutus aliran arus. Udara bertekanan tersebut disimpan dalam sebuah tangki dan diisi oleh *compressor*.

Keuntungan HSCB:

1. Resiko kebakaran sangat kecil.
2. Busur api benar – benar hilang.
3. Waktu pemutusan dan pemadaman sangat cepat.
4. Energi yang digunakan sangat banyak di alam, yaitu udara.
5. *Air blast* hanya membutuhkan sedikit energi untuk pemadaman.

Kerugian HSCB:

1. *Air blast* memiliki sifat yang relatif rendah dalam pemadaman busur api.
2. Sangat sensitif dari perubahan terhadap tegangan.
3. Menimbulkan suara yang cukup bising pada saat beroperasi.
4. Kompresor harus sering dilakukan maintenance untuk suplai udara.

High Speed Circuit Breaker (HSCB) akan jatuh atau trip apabila terjadi:

1. Arus listrik yang melebihi setting awal maksimum yang telah ditetapkan.
2. Laju kenaikan arus listrik (di/dt) melebihi yang ditetapkan.

2.8.2 Lightning Arraster

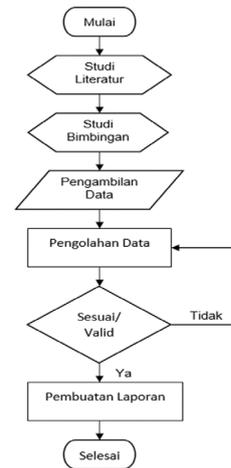
Lightning arrester adalah suatu peralatan listrik yang berfungsi untuk melindungi peralatan listrik terhadap tegangan lebih akibat surja petir dan surja hubung serta mengalirkan arus surja ke tanah.

Pada umumnya, pusat pembangkit tenaga listrik menyalurkan energinya melalui saluran transmisi udara dimana saluran transmisi tenaga listrik yang terpasang di udara ini sangatlah rentan terhadap gangguan yang disebabkan oleh sambaran petir. Sambaran petir ini menghasilkan gelombang berjalan (Surja Tegangan) pada saluran transmisi dan pada akhirnya dapat masuk kepusat pembangkit tenaga listrik. Oleh karena itu, dalam pusat pembangkit tenaga listrik harus dilengkapi dengan lightning arrester. Lightning arrester ini akan bekerja pada tegangan tertentu diatas dari tegangan operasi yang berfungsi untuk membuang muatan listrik dari surja petir dan berhenti beroperasi pada tegangan tertentu diatas tegangan operasi agar tidak terjadi arus pada tegangan operasi. Perbandingan dua

tegangan ini disebut juga rasio proteksi arrester. Tingkat isolasi bahan arrester harus berada dibawah tingkat isolasi bahan transformator supaya apabila sampai terjadi *flashover*, maka diharapkan terjadi pada *arrester*, tidak pada transformator.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Perancangan Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart.

Merupakan penjelasan tentang karakteristik utama dari penelitian yang berupa penelitian *eksploratif, eksplanatif, dan deskriptif kuantitatif*. Jenis penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan menggunakan analisis data dan memanfaatkan teori yang ada sebagai bahan pendukung. Pada penelitian ini, peneliti berusaha untuk mengetahui kondisi daya dari 5 gardu listrik traksi yang digunakan sebagai suplai Kereta Rel Listrik (KRL) pada UPT Resor 1.11 Pasar Minggu, dan mengetahui sistem kelistrikan dan bidang kerja listrik aliran atas.

Pada Tahapan Pengumpulan Data diperlukan data-data sebagai berikut:

- a. Data peralatan pada gardu listrik meliputi lokasi gardu traksi, jarak antar gardu traksi, kapasitas daya gardu traksi eksisting dan spesifikasi gardu traksi yang ada di PT.KAI DAOP 1, data tersebut digunakan untuk menentukan kapasitas gardu traksi.
- b. Data terkait berat kereta KRL, kebutuhan daya motor traksi dan peralatan bantu KRL, data tersebut diperlukan untuk menghitung kebutuhan daya listrik pada kereta KRL.
- c. Single Line Diagram dari gardu traksi KRL.

3.2 Perhitungan Jarak Suplai Gardu Traksi

Sebelum melakukan perhitungan kapasitas daya, maka harus diketahui terlebih dahulu jarak pengisian masing-masing gardu. Jarak pengisian

Gambar 4.1 Peta Elektrifikasi UPT Resor 1.11 Pasar Minggu.

UPT Resor 1.11 Pasar Minggu memiliki tanggung jawab atau memiliki wilayah kerja yang dimulai dari Stasiun Tebet hingga Stasiun Universitas Pancasila. Dari wilayah tersebut terdapat 5 gardu traksi (GT) yang berlokasi di 5 stasiun berbeda yaitu GT Cawang yang mulai beroperasi sejak tahun 2017 dan masih tergolong baru dibandingkan dengan gardu traksi lainnya, berlokasi di Stasiun Cawang dengan posisi KM 13+665, GT Duren Kalibata yang mulai beroperasi pada tahun 1992 dan tergolong sudah lama berlokasi di Stasiun Duren Kalibata dengan posisi KM 14+890, GT Pasar Minggu dengan yang mulai beroperasi pada tahun 2012 berlokasi di Stasiun Pasar Minggu dengan posisi Km 18+385, GT Tanjung Barat yang mulai beroperasi pada tahun 1992 berlokasi di Stasiun Tanjung Barat dengan posisi Km 21+554 dan GT Lenteng Agung yang mulai beroperasi pada tahun 2012 berlokasi di Stasiun Lenteng Agung dengan posisi KM 23+800.

4.2 Kapasitas Gardu Listrik UPT Resor 1.11 Pasar Minggu

Pada jaringan listrik aliran atas UPT Resor 1.11 Pasar Minggu, gardu traksi yang tersedia memiliki kapasitas transformator, penyearah dan daya suplai dari gardu distribusi PLN yang berbeda lalu pabrik yang menangani juga berbeda. Terlihat bahwa untuk gardu yang tergolong masih baru yaitu gardu traksi Cawang memiliki rating penyediaan daya yang paling tinggi, hal ini dikarenakan kapasitas daya yang diperlukan oleh PT. Kereta Api Indonesia (KAI Persero) juga meningkat mengingat semakin banyaknya pengguna kereta rel listrik (KRL) di wilayah Jabodetabek. Daya yang meningkat ini disebabkan oleh grafik perjalanan kereta api yang memperkirakan frekuensi dari kereta setiap jamnya dapat meningkat untuk memaksimalkan pelayanan terhadap penumpang, sehingga mengurangi penumpukan penumpang pada stasiun. Kapasitas daya pada suatu lintas jaringan dapat ditambah dengan dua cara, pertama dengan meningkatkan kapasitas peralatan dalam gardu yang ada, atau yang kedua dengan menambah jumlah gardu traksi dalam suatu lintas.

4.3 Jarak Pengisian Gardu Traksi

Jarak pengisian gardu traksi dapat didefinisikan sebagai jarak yang dihitung antara titik tengah suatu gardu yang bersebelahan dengan titik tengah suatu gardu yang bersebelahan lainnya untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada ilustrasi dibawah. Jarak antar gardu yang diperbolehkan pada jaringan listrik aliran

atas (LAA) PT. Kereta Api Indonesia adalah maksimal sejauh 6 km. Pada UPT Resor 1.11 Pasar Minggu yang memiliki 5 gardu yang dibawah perhitungan jarak pengisian gardu traksi. Dari ilustrasi dibawah dapat terlihat cara perhitungan jarak pengisian gardu traksi untuk gardu traksi B yang berada atau berhubungan parallel dengan gardu traksi A dan gardu traksi C.

NO	LOKASI	Penyediaan Daya (kW)	Daya Listrik Tegangan DC (V)	Keluaran Arus (A)
1	CAWANG	4903	1500	3268
2	DUREN KALIBATA	4892	1500	3261
3	PASAR MINGGU	3919	1500	2612
4	TANJUNG BARAT	4892	1500	3261
5	LENTENG AGUNG	3919	1500	2612

Tabel 4.1 Data Kapasitas Gardu Wilayah UPT Resor 1.11 Pasar Minggu.

Tabel 4.2 Data Penyediaan Daya Listrik Gardu Wilayah UPT Resor 1.11 Pasar Minggu

No	Lokasi	Daya PLN (kVA)	Daya Silicon Rectifier (kW)	Kapasitas Trafo (kVA)	Tegangan PLN (kV)	Pabrik	Posisi
1	CAWANG	5540	4000	4520	20	SECHERON	KM 13+665
2	DUREN KALIBATA	5540	4000	4530	20	MEIDEN	KM 14+890
3	PASAR MINGGU	4430	4000	4420	20	SIEMENS	KM 18+385
4	TANJUNG BARAT	5540	4000	4530	20	MEIDEN	KM 21+554
5	LENTENG AGUNG	4330	4000	4420	20	SECHERON	KM 23+800

Berikut merupakan jarak pengisian gardu untuk masing – masing gardu yang berada pada wilayah UPT Resor 1.11 Pasar Minggu. Untuk menentukan jarak pengisian gardu traksi Cawang (GT CW), namun untuk gardu traksi cawang karena gardu dengan KM kecil yang bersebelahan merupakan gardu traksi Manggarai, oleh karena itu dibutuhkan posisi gardu traksi Manggarai (GT MRI) yang berada pada KM 9+890 dan juga untuk perhitungan jarak pengisian gardu traksi Lenteng Agung, dibutuhkan posisi gardu dengan KM besar yang bersebelahan yaitu gardu traksi

Kampus UI (GT UI) yang berada pada KM 27+264.

Tabel 4.3 Jarak Pengisian Gardu Traksi Cawang-Lenteng Agung.

LOKASI GARDU	JARAK ANTAR GARDU (KM)		JARAK PENGISIAN (KM)
CAWANG	CW - MRI	3.775	2.500
	CW - DRN	1.225	
DUREN KALIBATA	DRN - CW	1.225	2.360
	DRN - PSM	3.495	
PASAR MINGGU	PSM - DRN	3.495	3.332
	PSM - TNT	3.169	
TANJUNG BARAT	TNT - PSM	3.169	2.707
	TNT - LNA	2.246	
LENTENG AGUNG	LNA - TNT	2.246	2.769
	LNA - UI	3.293	

Untuk mendapatkan hasil dari tabel diatas caranya menggunakan persamaan pada rumus (3.1). Dimana Gardu Cawang = 13.665 – Gardu Manggarai = 9.890 hasilnya adalah 3.775 dan Gardu Cawang = 13.665 – Gardu Duren Kalibata = 15.276 hasilnya adalah 1.225. Dari hasil pengurangan diatas hasilnya dibagi ½ dimana dari GT CW – GT MRI = 3.775 dibagi ½ hasilnya adalah = 1887,5 sedangkan GT CW – GT DRN = 1.225 dibagi ½ hasilnya adalah = 612,5 setelah ditemukan hasilnya dilakukan perhitungan pertambahan dimana hasil dari 1887,5 + 612,5 = 2500.

4.4 Perhitungan Kapasitas Daya Gardu Traksi

Perhitungan kapasitas daya gardu traksi dapat menggunakan persamaan empiris menunjuk pada persamaan rumus (3.7).

Pada perhitungan menggunakan persamaan empiris diatas, kapasitas trafo 6 kV seluruh gardu bernilai sama yaitu 200 kVA.

Contoh perhitungan untuk GT Cawang:

Daya GT Cawang:

$$= \frac{4000 \text{ (kW)}}{4520 \text{ (kVA)}} \times (5540 \text{ kVA} - 200 \text{ kVA})$$

$$= 4725.66 \text{ kW}$$
 Arus GT Cawang:

$$= \frac{4725.66}{1000} \times 1500 \text{ V}$$

$$= 3150.44 \text{ Ampere}$$

Untuk selanjutnya menentukan besarnya daya dan arus Berikut dibuat dalam table 4.4 sebagai berikut. untuk perhitungan daya gardu traksi dan arus output gardu traksi untuk lima gardu traksi yang ada.

Tabel 4.4 Perbandingan Daya Tersedia dengan Perhitungan.

NO	LOKASI	Daya Listrik Output Tersedia			Daya Listrik Ouput Perhitungan		
		Daya (kW)	Tegangan DC (V)	Arus (A)	Daya (kW)	Tegangan DC (V)	Arus (A)
1	CAWANG	4903	1500	3268	4725.66	1500	3150.44
2	DUREN KALIBATA	4892	1500	3261	4715.23	1500	3143.49
3	PASAR MINGGU	3919	1500	2612	3737.56	1500	2491.70
4	TANJUNG BARAT	4892	1500	3261	4715.23	1500	3143.49
5	LENTENG AGUNG	3919	1500	2612	3737.56	1500	2491.70

Tabel 4.5 Presentase Selisih Daya Tersedia Dengan Perhitungan

NO	LOKASI	DAYA OUPUT TERSEDIA	DAYA OUTPUT PERHITUNGAN	PERSENTASE SELISIH OUTPUT
1	CAWANG	4903	4725.66	3.61%
2	DUREN KALIBATA	4892	4715.23	3.61%
3	PASAR MINGGU	3919	3737.56	4.62%
4	TANJUNG BARAT	4892	4715.23	3.61%
5	LENTENG AGUNG	3919	3737.56	4.62%

Untuk mendapatkan hasil dari persentase

selisih output menunjuk pada persamaan rumus (3.8). Contoh perhitungan persentase selisih untuk Gardu Cawang:

$$= 4903 \text{ (kW)} - 4725.66 \text{ (kW)} = \frac{177.34}{4903} \times 100\% = 3.61\%$$

Terlihat hanya terdapat perbedaan tidak lebih dari 5% dan dianggap masih ditoleransi dan cukup akurat.

4.5 Perhitungan Penentuan Kapasitas Daya Peralatan Gardu Traksi

Penentuan kapasitas daya substation dapat dilakukan dengan perhitungan menggunakan software khusus (missal CMTS – Cegelec Metric Train Simulation, SIEMENS – Sistar) atau melalui perhitungan manual dengan formulasi yang digunakan oleh konsultan PMS (Project Management Service) dari JARTS (Japan Railway Technical Service) seperti tercantum dirumus (3.2), (3.3), (3.4), (3.5) dan (3.6).

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk gardu traksi Cawang (GT CW):

Menghitung nilai Faktor elektrifikasi

$$C_m = 1.7\sqrt{2384} = 83.00$$

Menghitung beban maksimum dalam 1 jam

$$P_b = 2 \times 2.5 \times 60/6 \times 2 \times 50 \times 486.24/1000 = 2431.2 \text{ (kW)}$$

Menghitung kapasitas daya berdasarkan headway
 $P_h = 2431.2 + 83.00\sqrt{2431.2} = 6523.69 \text{ (kW)}$

Menghitung kapasitas daya berdasarkan arus beban maksimum

$$P_a = 1.5 + (2 \times 2384 \times (1 - 0.08)) = 4388.06 \text{ (kW)}$$

Menghitung kapasitas daya gardu traksi yang dibutuhkan

$$P_{gt} = P_h/2.5 = 6523,69/2.5 = 2609.47 \text{ (kW)}$$

Untuk selanjutnya menentukan besarnya daya P_b , P_h , P_a , dan P_{gt} Berikut dibuat dalam table 4.6 sebagai berikut

Tabel 4.6 Hasil Perhitungan Beban Maksimum dan Kapasitas Daya

NO	LOKASI	P_b (kW)	P_h (kW)	P_a (kW)	P_{gt} (kW)
1	CAWANG	2431.2	6523.69	4388.06	2609.47
2	DUREN KALIBATA	2295.05	6271.53	4388.06	2508.61
3	PASAR MINGGU	3240.30	7965.23	4388.06	3186.09
4	TANJUNG BARAT	2632.99	6892.17	4388.06	2756.87
5	LENTENG AGUNG	2779.35	7155.31	4388.06	2862.12

Perbandingan antara kapasitas penyediaan output daya yang tersedia dengan kapasitas penyediaan daya berdasarkan perhitungan. Untuk mendapatkan hasil persentase selisih pada tabel dibawah menunjuk pada persamaan rumus (3.8).

Berikut contoh Perhitungan persentase selisih pada Gardu Cawang:

$$= 4903 \text{ (kW)} - 2609.57 \text{ (kW)} = 2293.43/4903 \times 100 = 46.77\%$$

Untuk selanjutnya menentukan Persentase selisih Berikut dibuat dalam tabel 4.7 sebagai berikut.

Tabel 4.7 Persentase Selisih Kapasitas Daya Tersedia Dengan Perhitungan.

No	Lokasi	Kapasitas Daya Tersedia (kW)	Kapasitas Daya Perhitungan (kW)	Persentase Selisih (%)
1	Cawang	4903	2609.57	46.77
2	Duren Kalibata	4892	2508.61	48.72
3	Pasar Minggu	3919	3186.09	18.70
4	Tanjung Barat	4892	2756.87	43.64
5	Lenteng Agung	3919	2862.12	26.96

Pada perhitungan menggunakan *headway* terberat selama 6 menit terlihat bahwa kapasitas daya gardu traksi berdasarkan perhitungan pada 5 gardu yang tersedia menunjukkan bahwa gardu tersebut masih dapat digunakan dan tidak ada kekurangan daya. Pada tabel terlihat bahwa gardu yang persentase pemakaiannya paling besar terdapat pada gardu traksi Pasar Minggu dan persentase pemakaian paling kecil terdapat pada gardu traksi Duren Kalibata. Hal ini disebabkan gardu traksi Pasar Minggu memiliki kapasitas daya peralatan yang kecil dan juga faktor jarak antar gardu yang bersebelahan terbilang paling jauh diantara gardu lainnya sehingga membuat jarak pengisian gardu juga besar. Pada gardu traksi Duren Kalibata nilai persentase pemakaian daya bernilai kecil karena kapsitas peralatan gardu tersebut terbilang cukup besar dan memiliki jarak pengisian gardu yang paling kecil. Dari sini dapat dinyatakan bahwa selain rating

daya peralatan yang terdapat pada suatu gardu, jarak pengisian memiliki peran penting dalam pemakaian daya suatu gardu, hal ini sebelumnya juga sudah diatur bahwa jarak antar gardu terjauh tidak lebih dari 6 km agar nantinya nilai jarak pengisian gardu tidak besar yang artinya beban suatu gardu tidak terlalu besar untuk dilewati kereta, apalagi jika *headway* dipersempit atau dilewati kereta percobaan yang tidak masuk dalam jadwal (Sewaktu – Waktu).

4.6 Pola Pembebanan Gardu Traksi

Pola pembebanan gardu traksi dihitung menggunakan persamaan yang sama dengan persamaan sebelumnya namun sedikit berbeda dalam penggunaannya dimana dalam menentukan pola pembebanan gardu traksi, pemakaian daya perjam dihitung berdasarkan rata-rata jumlah kereta rel listrik yang lewat setiap jamnya sehari – hari. Dari tabel dibawah, terlihat bahwa pemakaian daya paling besar terdapat pada pukul 07.00–09.00 WIB dan berangsur menurun hingga meningkat kembali menjelang pukul 15.00–21.00 WIB terbilang konstan dan kembali turun setelah pukul 21.00 WIB. Hal ini menunjukkan bahwa pengguna KRL mayoritas menggunakan KRL sebagai transportasi untuk keperluan bekerja dan bersekolah.

Tabel 4.8 Pola Pembebanan Gardu Traksi.

No	Waktu	Jumlah Kereta Melintas	Penggunaan Daya (KW)				
			Cawang	Duren Kalibata	Pasar minggu	Tanjung Barat	Lenteng Agung
1	04.00 - 04.59	1	121.56	114.75	162.02	131.65	138.97
2	05.00 - 05.59	15	1823.41	1721.29	2430.23	1974.74	2084.51
3	06.00 - 06.59	19	2309.64	2180.31	3078.29	2501.34	2640.38
4	07.00 - 07.59	22	2674.32	2524.56	3564.33	2896.29	3057.28
5	08.00 - 08.59	22	2674.32	2524.56	3564.33	2896.29	3057.28
6	09.00 - 09.59	21	2552.76	2409.81	3402.32	2764.64	2918.32
7	10.00 - 10.59	18	2188.08	2065.55	2916.27	2369.69	2501.41
8	11.00 - 11.59	19	2309.64	2180.31	3078.29	2501.34	2640.38
9	12.00 - 12.59	16	1944.96	1836.04	2592.24	2106.39	2223.48
10	13.00 - 13.59	16	1944.96	1836.04	2592.24	2106.39	2223.48
11	14.00 - 14.59	18	2188.08	2065.55	2916.27	2369.69	2501.41
12	15.00 - 15.59	20	2431.21	2295.05	3240.31	2632.99	2779.35
13	16.00 - 16.59	19	2309.64	2180.31	3078.29	2501.34	2640.38
14	17.00 - 17.59	20	2431.21	2295.05	3240.31	2632.99	2779.35
15	18.00 - 18.59	20	2431.21	2295.05	3240.31	2632.99	2779.35
16	19.00 - 19.59	20	2431.21	2295.05	3240.31	2632.99	2779.35
17	20.00 - 20.59	19	2309.64	2180.31	3078.29	2501.34	2640.38
18	21.00 - 21.59	15	1823.41	1721.29	2430.23	1974.74	2084.51
19	22.00 - 22.59	11	1337.16	1262.28	1782.17	1448.14	1528.64
20	23.00 - 23.59	5	607.81	573.76	810.08	658.25	694.84
21	00.00 - 00.59	2	243.12	229.51	324.03	263.31	277.93

4.7 Perhitungan Dan Analisis Waktu *Headway*

Waktu *headway* atau dalam bahasa Indonesia disebut waktu antara, merupakan suatu

batas atau interval waktu antara bagian depan suatu kendaraan melewati suatu titik dengan saat dimana bagian depan kendaraan berikutnya melewati titik yang sama. *Headway* pada jalur lintasan kereta rel listrik dapat didefinisikan sebagai selang waktu kereta datang atau dengan kereta berikutnya yang melewati suatu titik dalam satuan menit per-kereta misal waktu *headway* 6 menit artinya setiap 6 menit sekali akan ada satu kereta berhenti atau melewati suatu stasiun tersebut yang menjadi acuan.

Dalam bagian ini, akan dilakukan perhitungan dan analisis jika terjadi penyempitan *headway* dari sebelumnya yang menggunakan *headway* terberat selama 6 menit, menjadi *headway* terberat selam 4 menit dan 3 menit. Hal ini dilakukan untuk memperkirakan peningkatan kapasitas gardu yang terjadi. Ketika jumlah harian penumpang KRL terus meningkat yang akan membuat waktu *headway* dipersempit untuk memaksimalkan peningkatan penumpang KRL pada tahun – tahun selanjutnya. Perhitungan menggunakan formula yang sama dengan sub-bab sebelumnya, hanya mengganti nilai dari *headway* yang digunakan maka didapat hasil perhitungan sebagai berikut:

Ketika digunakan nilai *headway* terberat selama 4 menit.

Untuk mendapatkan hasil perhitungan tabel dibawah menunjuk pada persamaan rumus (3.2), (3.3), (3.4), (3.5) dan (3.6).

Berikut merupakan contoh perhitungan untuk gardu traksi Cawang (GT CW):

Menghitung nilai Faktor elektrifikasi

$$C_m = 1.7\sqrt{2384} = 83.00$$

Menghitung beban maksimum dalam 1 jam

$$P_b = 2 \times 2.5 \times 60/4 \times 2 \times 50 \times 486.24/1000$$

$$= 3646.8 \text{ (kW)}$$

Menghitung kapasitas daya berdasarkan *headway*

$$P_h = 3646.8 + 83.00\sqrt{3646.8} = 8659.34 \text{ (kW)}$$

Menghitung kapasitas daya berdasarkan arus beban maksimum

$$P_a = 1.5 + (2 \times 2384 \times (1 - 0.08)) = 4388.06 \text{ (kW)}$$

Menghitung kapasitas daya gardu traksi yang dibutuhkan

$$P_{gt} = P_h/2.5 = 8659,34/2.5 = 3463.74 \text{ (kW)}$$

Untuk selanjutnya menentukan besarnya daya P_b , P_h , P_a , dan P_{gt} Berikut dibuat dalam tabel 4.9 sebagai berikut.

Tabel 4.9 Perhitungan Daya Ketika *Headway* 4 menit

NO	LOKASI	Pb (kW)	Ph (kW)	Pa (kW)	Pgt (kW)
1	CAWANG	3646.8	8659.34	4388.06	3463.74
2	DUREN KALIBATA	3442.58	8312.75	4388.06	3325.10
3	PASAR MINGGU	4860.45	10647.28	4388.06	4258.91
4	TANJUNG BARAT	3949.48	9165.90	4388.06	3666.36
5	LENTENG AGUNG	4169.02	9528.46	4388.06	3811.38

Untuk mendapatkan hasil persentase selisih pada tabel dibawah menunjuk pada persamaan rumus (3.8).

Berikut contoh Perhitungan persentase selisih pada Gardu Cawang:
 $= 4903 \text{ (kW)} - 3463.74 \text{ (kW)} = 1439.26/4903 \times 100$
 $= 29.35\%$

Untuk selanjutnya menentukan Persentase selisih maka dibuat dalam tabel 4.10 sebagai berikut:

Tabel 4.10 Persentase Selisih Perhitungan Daya Headway 4 menit dengan tersedia

No	Lokasi	Kapasitas Daya Tersedia (kW)	Kapasitas Daya Perhitungan (kW)	Persentase Selisih (%)
1	Cawang	4903	3463.74	29.35
2	Duren Kalibata	4892	3325.10	32.03
3	Pasar Minggu	3919	4258.10	-8.67
4	Tanjung Barat	4892	3666.36	25.05
5	Lenteng Agung	3919	3811.38	-2.75

Terlihat ketika terjadi penyempitan waktu

headway menjadi headway terberat sebesar 4 menit maka beban maksimum per jam mengalami kenaikan serta nilai perhitungan kapasitas gardu yang dibutuhkan juga meningkat. Dari data hasil perhitungan tersebut dari 5 gardu yang beroperasi, hanya gardu traksi Pasar Minggu yang mengalami kekurangan kapasitas daya yang dibutuhkan 8.67% hal ini disebabkan jarak pengisian gardu traksi Pasar Minggu yang cukup jauh dan ditambah kapasitas daya yang tersedia memang termasuk nilai terkecil dibandingkan dengan gardu lainnya.

V. SIMPULAN

5.1 Kesimpulan

- Kapasitas maksimal dari 5 Gardu traksi (GT) yaitu GT Cawang, Duren Kalibata, Pasar Minggu, Tanjung Barat, Lenteng Agung masih dapat dikategorikan dapat digunakan sesuai dengan kapasitasnya, dengan selisih antara kapasitas daya *output* antara kapasitas tersedia dengan kapasitas hasil perhitungan hanya terpaut selisih 3.75 – 4.85 % yang menunjukkan angka $\leq 5\%$ dari aturan yang ada.
- Gardu traksi (GT) Cawang, Duren Kalibata, Pasar Minggu, Tanjung Barat, Lenteng Agung masih bekerja sesuai dengan kapasitas daya *output* yang tersedia. Ketika digunakan *headway* tercepat selama 6 menit (± 20 kereta/jam) dengan interval penggunaan daya gardu 51.81 – 81.3% dari kapasitasnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Matsumoto Masakazu, Sekino Shinichi, and Wajima Takenori. 2005. Latest System Techoology for Railway Electric Cars.
2. Japan International; Agency Japanese National Railways Railway Electrification Asociation. Railway Electrification, The 2nd Edition.
3. Dugan, Roger. C and Mc Granaghan, Mark.F.Electrical Power System Quality. New Yoirk: McGraw-Hill. 2003, hal 93-120.
4. Dwiatmoko, Hermanto. (2016). Pengujian Fasilitas Operasi Kereta Api. Jakarta: Kencana.
5. Marlock, E. K. (1985). Pengantar Teknik dab Perencanaan Transportasi, Jakarta: Erlangga.
6. Dwi Kakung, Andra (2012). Analisa Kapasitas Daya Gardu Listrik Aliran Atas Sebagai Suplai KRL Pada lintas Bogor – Jakarta Kota. Skripsi. Teknik Elektro Universitas Mercu Buana. Jakarta.
7. Rahadian Fikri, Andri. (2013). Perawatan Sistem Jaringan Listrik Aliran Atas pada PT. KAI. Laporan Kerja Praktik Kerja Lapangan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.