

Analisa Jatuh Tegangan Pada *Mass Rapid Transit* (MRT) Jakarta

Rizka Shafira, Chairul Gagarin Irianto, Ishak Kasim

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti Jalan
Kyai Tapa No. 1, Jakarta Barat, 11470, Indonesia

*E-mail: rizka062001700018@std.trisakti.ac.id, chairul_rianto@trisakti.ac.id,
Ishak@trisakti.ac.id*

ABSTRACT

One of the problems for the Jakarta Mass Rapid Transit (MRT) is due to a decrease in voltage on the power supply line which can cause a decrease in train speed, disruption of power quality and damage to electrical equipment. The purpose of this study was to determine the magnitude of the stress drop and to obtain the optimal distance from MRT Jakarta traction. This research uses the method of calculating the voltage drop that occurs on the MRT. The results of this research show that the voltage drop in the traction substation between Cipete Raya - Sisingamangaraja is 202.3 VDC or 13.5% and for the placement of the ideal traction substation distance is ± 2 km with a maximum falling voltage of 92.5 VDC or 6.2% of the maximum drop voltage limit of 10% that has been set by the standards of PT PLN (Persero) 1:1995.

Keyword : Drop Voltage, Traction Lines, Traction Substation, Mass Rapid Transit (MRT), Drop Voltage, Traction substation, Traction Line, Jakarta

ABSTRAK

Salah satu permasalahan di Mass Rapid Transit (MRT) Jakarta karena terjadinya penurunan tegangan pada saluran catu daya yang dapat menyebabkan penurunan kecepatan kereta, gangguan kualitas daya dan kerusakan peralatan listrik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meneliti seberapa besar terjadinya jatuh tegangan dan mendapatkan jarak optimal gardu traksi MRT Jakarta. Pada penelitian menggunakan metode perhitungan jatuh tegangan yang terjadi pada MRT. Hasil dari penelitian ini didapatkan jatuh tegangan tertinggi beradapada gardu traksi antara Cipete Raya – Sisingamangaraja yaitu 202,3 VDC atau 13,5% dan untuk penempatan jarak gardu traksi ideal adalah ± 2 km dengan tegangan jatuh maksimal 92,5 VDC atau 6,2% dari batas maksimum jatuh tegangan sebesar 10% yang telah ditetapkan oleh Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN 1:1995).

Kata kunci : Tegangan Jatuh, Jatuh Tegangan, Gardu Traksi, Mass Rapid Transit (MRT), Drop Voltage, Traction substation, Traction Line, Jakarta.

1. Pendahuluan

MRT Jakarta memakai sumber energi listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai sumber daya utamanya. Sistem elektrifikasi yang dipakai pada MRT Jakarta adalah sistem arus searah 1500 Volt Direct Current (VDC) yang di suplai melalui sistem saluran atas overhead contact system (OCS) yang dimana terdapat dua bagian penting, yaitu gardu traksi dan jaringan catenary. Jaringan *catenary* merupakan jaringan *penghantar* sumber listrik yang didapatkan dari 4 gardu traksi. Gardu traksi ini berfungsi untuk mengubah sumber listrik arus bolak-balik menjadi sumber listrik searah. Salah satu masalah dalam jalur traksi adalah variasi tegangan yang disebabkan oleh penurunan tegangan pada saluran catu daya yang menyebabkan penurunan kecepatan kereta, gangguan kualitas daya dan kerusakan peralatan listrik. MRT menjadi salah satu transportasi yang saat ini sering digunakan masyarakat sehingga jumlah MRT harus tercukupi serta diperlukannya penambahan gardu traksi karena kebutuhan daya yang meningkat. Jika kebutuhan daya terus meningkat namun tidak ada penambahan gardu traksi dapat mengakibatkan trip tegangan karena kurangnya pasokan daya yang dibutuhkan MRT dan untuk menghindari terjadinya jatuh tegangan diperlukan kapasitas daya yang bisa dioptimalkan daya setiap unit kereta dengan cara memperhitungkan jarak ideal penempatan gardu traksi yang ditinjau dari segi jarak antar gardu traksi. Untuk lokasi penelitian ini, peneliti meneliti tegangan jatuh pada bagian jalur layang dari Lebak Bulus sampai Sisingamangaraja [1].

2. Kajian Pustaka

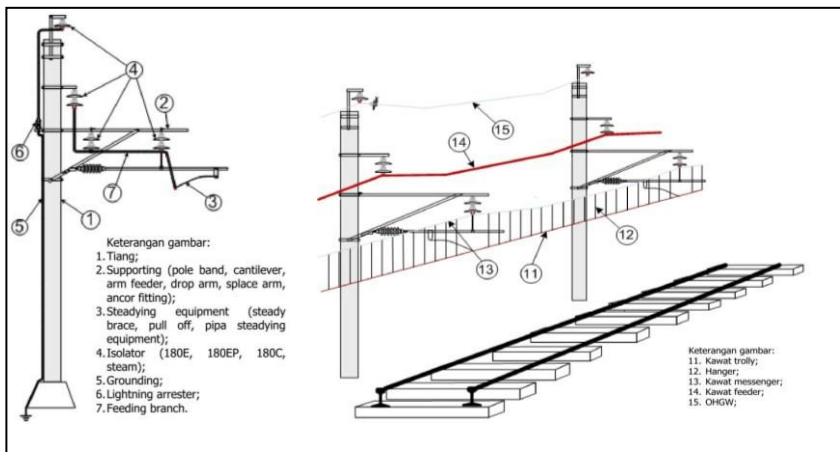
2.1 *Mass Rapid Transit* (MRT)

MRT Jakarta memiliki 16 rangkaian kereta yang dimana setiap rangkaian memiliki 6 gerbong kereta yang susunan kereta terdiri dari 2 Trailer Car dan 4 Motor traksi. MRT menggunakan motor induksi 3 fasa sangkar tupai [13] yang dikontrol oleh Inverter *Variable Voltage Variable Frequency* (VVVF) yang berfungsi sebagai penghasil tenaga dan penggerak roda atau *wheelsets*. Inverter VVVF pada MRT berfungsi sebagai konversi dari tegangan DC menjadi AC sesuai dengan motor traksi yang digunakan. Inverter VVVF menggunakan *Insulated Gate Bipolar Transistor*

(IGBT) untuk alat switching dan inverter VVVF dilengkapi dengan sistem proteksi listrik [2].

2.2 Sistem Aliran Atas

Sistem Aliran atas atau *overhead contact system* (OCS) adalah sistem yang berfungsi untuk menyediakan suplai daya listrik, pendistribusian dan pengendalian yang diperlukan untuk operasi kereta rel listrik (MRT) dan peralatan persinyalan, telekomunikasi serta peralatan lain yang berada pada jalur atau track yang terelektifikasi [7]. OCS juga bisa didefinisikan sebagai suatu transmisi atau jaringan listrik yang berfungsi menyalurkan tenaga listrik dari gardu traksi ke kereta dan dilengkapi dengan pantograf. Tinggi kabel OCS pada MRT Jakarta adalah ± 5 meter di atas permukaan rel dan 4 meter di atas permukaan tanah sehingga orang dapat berjalan dengan aman jika terjadi evakuasi kereta atau saat melakukan pekerjaan pemeliharaan. MRT Jakarta memiliki 2 sistem saluran atas, yaitu *simple catenary system* dan *rigid suspension catenary system* [2].



Gambar 1. Peralatan Pada Sistem Aliran Atas

2.3 Sistem Gardu Traksi

Gardu traksi adalah sebuah Gardu listrik yang digunakan untuk menyuplai daya ke sistem aliran atas atau OCS sebagai supply ke kereta [6]. Supply utama Gardu traksi ini berasal dari PLN sebagai salah satu perusahaan penyedia tenaga listrik di Indonesia.

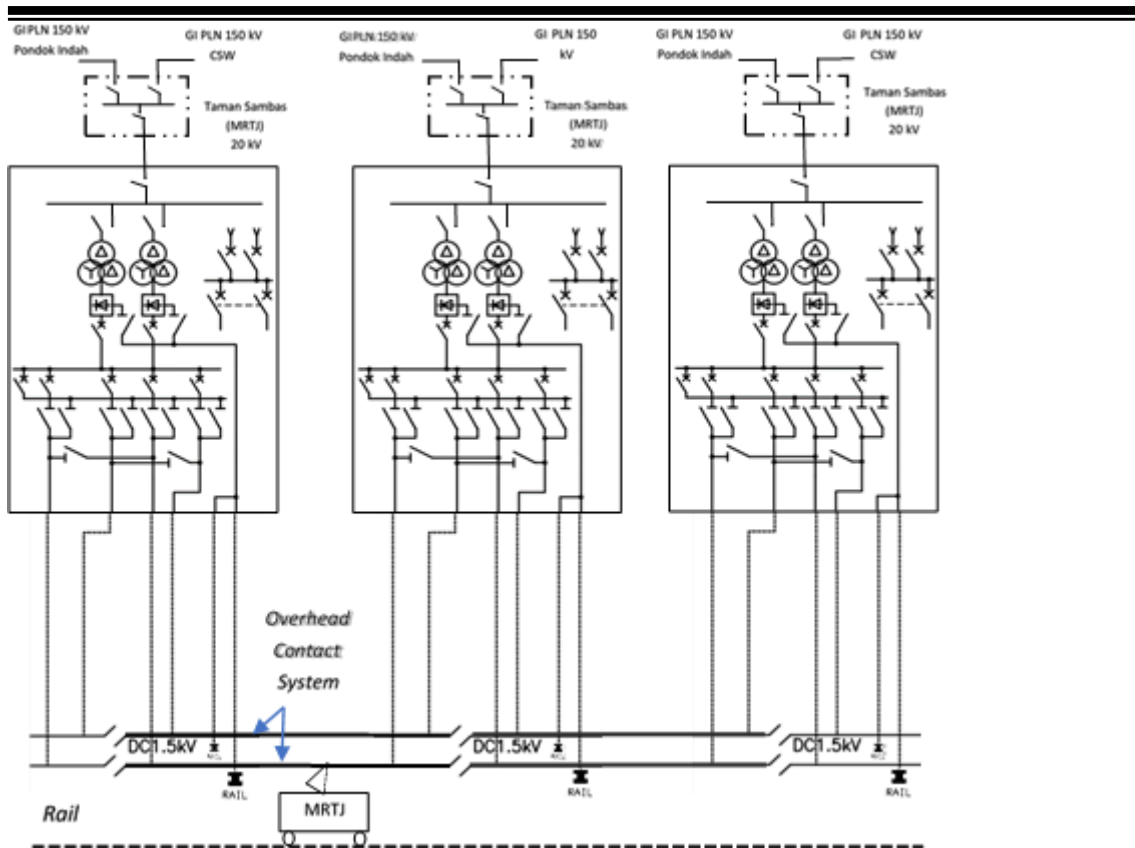
Tegangan yang disalurkan dari sumber 20 kV_{AC} yang kemudian di konversi menjadi tegangan 1500 V_{DC} pada keluaran gardu traksi tersebut mengalir pada OCS yang kemudian digunakan dalam pengoprasian sistem MRT. Gardu traksi di jalur layang MRT terdapat 3 gardu yaitu, gardu traksi Lebak Bulus, Cipete Raya dan Sisingamangaraja. Peralatan pada gardu traksi terdapat medium voltage switchgear, transformator traksi, rectifier, DC 1500 V switchgear, negative cubicle, battery chargerDC, dan lain-lain [2].



Gambar 2. Gardu Traksi MRT Jakarta

2.4 Sistem Interkoneksi MRT Jakarta

Sistem penyuplaian daya untuk sistem aliran atas menggunakan sistem interkoneksi. Sistem interkoneksi ini menyuplai daya untuk MRT dengan menggunakan 2 substation yang berjarak sekitar ± 4 KM dan saling terhubung interkoneksi secara paralel. Pada gambar 3 merupakan gambar single line diagram sistem elektrifikasi dari MRT Jakarta dimana pada gambar tersebut menjelaskan dari gardu induk PLN tegangan 150 kV AC di *step down* menjadi tegangan 20 kV AC yangkemudia didistribusikan ke gardu gardu traksi untuk di *step down* menjadi 1200 V_{AC} pada output tegangan sekunder di transformator dan disearahkan dengan rectifier 12 pulsa menjadi 1500 V_{DC} sebagai tegangan nominalnya [2]. Setelah itu, tegangan 1500V_{DC} di salurkan ke sistem aliran atas yang nantinya akan dikumpulkan arus tersebut oleh pantograf single arm diagram yang dimana berfungsi untuk menyalurkan arus listrik dari kabel aliran atas ke motor kereta MRT [5].



Gambar 3. Single Line Diagram Sistem Elektrifikasi MRT Jakarta

2.5 Saluran Transmissi MRT Jakarta

Proses penyaluran energi listrik dari Gardu PLN menuju konstruksi Listrik aliran atas adalah Gardu listrik mendapatkan catu daya dari jaringan distribusi tegangan menengah 20kV AC milik PLN. Yang selanjutnya masuk ke trafo utama (*Main Transformer*) penurun tegangan (*Step Down*) diturunkan dari 20kV AC menjadi 1.2kV AC dan kemudian di konversi dari tegangan AC menjadi tegangan DC menggunakan *Rectifier*. *Rectifier* yang dipakai di gardu listrik menggunakan jenis *Silicon Rectifier* dengan sistem penyearah 3 phase gelombang penuh yang merubah tegangan 1,2 kV AC menjadi 1500 V_{DC}. Tegangan 1500 V_{DC} ini disebut tegangan nominal yang disalurkan ke jaringan listrik aliran atas. Kemudian, MRT memperoleh catu daya dari jaringan bertegangan positif, dan rel digunakan sebagai penghantar tegangan negatif, yang dihubungkan dengan sisi negatif Silicon Rectifier [4]

2.6 Jatuh Tegangan Pada Jalur Traksi MRT

Jatuh tegangan adalah besarnya tegangan yang hilang pada suatu penghantar. Pada Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) No. 1:1995, batas toleransi maksimum untuk jatuh tegangan sebesar -10% dari tegangan nominal. Jatuh tegangan di jalur traksi dipengaruhi oleh hambatan, arus dan jarak. Untuk perumusan jatuh tegangan dapat dilihat pada persamaan dibawah sebagai berikut [3] :

$$\Delta V = (i_x l_x) R_{total} \quad (2.1)$$

Dimana :

ΔV = Nilai Jatuh Tegangan (Volt)

i_x = Nilai arus listrik total pada gardu traksi (A)

l_x = Jarak kereta terhadap gardu listrik (km)

R_{total} = Resistansi total saluran (Ω /km)

$$V_{reg} = \frac{\Delta V}{V_s} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dimana :

V_{reg} = Pengaturan Tegangan (%)

ΔV = Nilai Jatuh Tegangan (Volt)

V_s = Tegangan Penerima (Volt)

$$i_{MRT}^n = \frac{i_{MRT} l_{MRT}}{l} \quad (2.3)$$

Dimana :

i_{MRT}^n = Arus listrik pada sisi belakang MRT (A)

i_{MRT} = Total konsumsi arus listrik MRT (A)

l_{MRT} = Jarak MRT terhadap gardu listrik (km)

l = Jarak total antara dua gardu (km)

$$i_x = i_{MRT} - i_{MRT}^n \quad (2.4)$$

Dimana :

i_x = Nilai arus listrik total pada gardu traksi (A)

i_{MRT} = Total konsumsi arus listrik MRT (A)

i_{MRT}^n = Arus listrik pada sisi belakang MRT (A)

$$R_{MT} = \frac{R_M \times R_T}{R_M + R_T} \quad (2.5)$$

Dimana :

R_{MT} = Resistansi paralel kawat messenger dengan kawat troli (Ω/km)

R_M = Resistansi kawat messenger (Ω/km)

R_T = Resistansi kawat troli (Ω/km)

$$R_{Total} = \frac{R_{MT} \times R_F}{R_{MT} + R_F}$$

Dimana :

R_{Total} = Resistansi total saluran (Ω/km)

R_F = Resistansi kawat feeder (Ω/km)

R_{TM} = Resistansi paralel kawat messenger dengan kawat troli (Ω/km)

3. Metode Penelitian

3.1. Tahap Penelitian

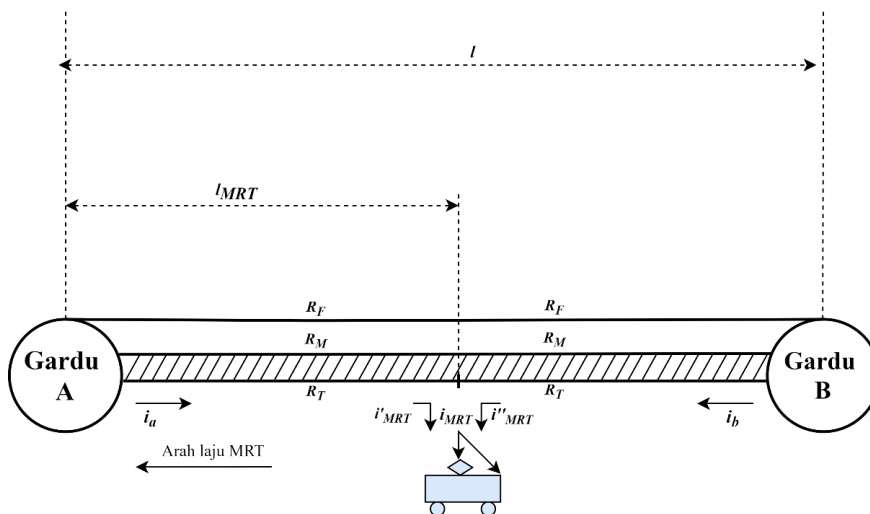
Tahapan pada penelitian ini adalah yang pertama identifikasi masalah dilapangan, ditemukan permasalahan terdapat penurunan tegangan pada saluran catu daya atau variasi tegangan di jalur layang MRT Jakarta yang dapat menyebabkan penurunan kecepatan kereta, gangguan kualitas daya dan kerusakan peralatan listrik. Untuk mengetahui jatuh tegangan, maka dibutuhkannya nilai resistansi saluran aliran atas, nilai arus listrik pada kereta dan gardu traksi. Setelah mempelajari lebih dalam mengenai masalah yang sedang terjadi atau studi literatur, maka dilakukan pengumpulan data lapangan yang akan digunakan dalam pengolahan data. Data yang diperoleh diolah sehingga didapatkan hasil jatuh tegangan dan juga memperhitungkan untuk mengetahui berapa jarak ideal untuk gardu traksi supaya jatuh tegangan pada MRT tidak melewati batas toleransi yang telah ditetapkan oleh SPLN.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisa Jatuh Tegangan Pada MRT Jakarta

Sistem penyuplaian kereta MRT menggunakan dua gardu traksi yang dihubungkan paralel. Hal ini pasti menyebabkan adanya jatuh tegangan yang dimana parameter tersebut harus diperhitungkan dan dipertimbangkan guna

mendukung suatu pengoperasian MRT karena jika tegangan berkurang atau terjadi jatuh tegangan, maka akan menyebabkan kerugian pada daya, kecepatan laju MRT, peningkatan konsumsi daya MRT, dan mengakibatkan keterlambatan MRT, sehingga sulit mengakurasi jadwal operasi MRT. Oleh sebab itu, peneliti meneliti berapa besar jatuh tegangan pada jalur traksi MRT Jakarta supaya menjadi bahan pertimbangan oleh PT MRT Jakarta agar mengurangi kemungkinan terjadinya jatuh tegangan.



Gambar 4. Sketsa Perhitungan Jatuh Tegangan Pada MRT

Keterangan Gambar :

Gardu A = Gardu

traksi A Gardu B =

Gardu traksi B

i_a = Arus listrik pada sisi gardu traksi A

i_b = Arus listrik pada sisi gardu traksi B

R_F = Resistansi kawat feeder

R_M = Resistansi kawat messenger

R_T = Resistansi kawat troli

i_{MRT} = Total konsumsi arus listrik MRT

i'_{MRT} = Arus listrik pada sisi depan MRT

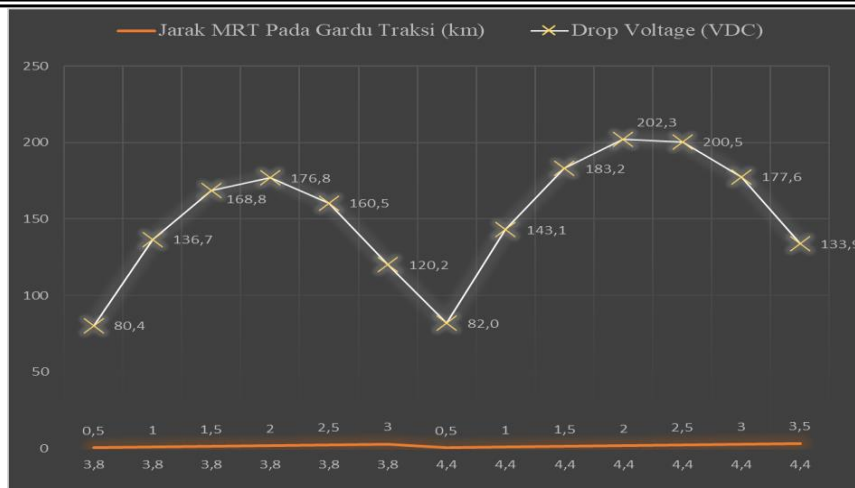
- i''_{MRT} = Arus listrik pada sisi belakang MRT
- l = Jarak total antara dua gardu traksi
- l_{MRT} = Jarak MRT terhadap gardu listrik

4.2. Perhitungan Jatuh Tegangan Pada MRT Jakarta

Perhitungan Jatuh tegangan pada MRT Jakarta memiliki beberapa Variabel seperti nilai resistansi saluran total, arus listrik pada sisi depan dan belakang, jarak antara kedua gardu traksi, jarak kereta terhadap gardu. Dimana nilai dari perhitungan setiap variable tersebut mempengaruhi untuk menghitung jatuh tegangan

Tabel 1. Tegangan Jatuh MRT Lebak bulus – Sisingamangaraja

No.	Jarak Antara Gardu Traksi A dan B (km)	Jarak MRT Terhadap Gardu Traksi A (km)	Jatuh Tegangan (V_{DC})	Pengaturan Tegangan (%)
1.	Lebak Bulus – Cipete Raya : 3,829	0,5	80,429	5,362
		1	136,699	9,113
		1,5	168,809	11,254
		2	176,829	11,789
		2,5	160,546	10,703
		3,0	120,174	8,012
2.	Cipete Raya – Sisingamangaraja : 4,412	0,5	82,026	5,468
		1	143,084	9,539
		1,5	183,175	12,211
		2	202,297	13,486
		2,5	200,452	13,363
		3,0	177,639	11,843
		3,5	133,858	8,924



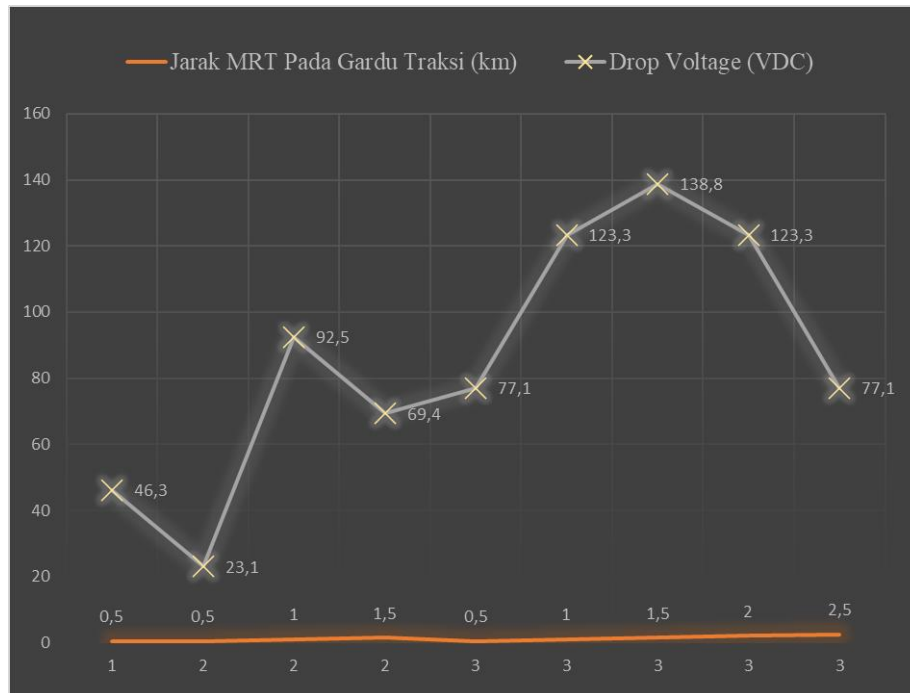
Gambar 5. Grafik Jatuh Tegangan Lebak bulus – Sisingamangaraja

4.3. Perhitungan Penempatan Jarak Ideal Gardu Traksi MRT

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui berapa jarak yang ideal untuk penempatan gardu traksi agar dapat meminimalisir jatuh tegangan pada MRT. Untuk perhitungan ini sama seperti pada perhitungan sebelumnya yang dimana variable untuk jarak gardu traksinya di permisalkan untuk dapat mengetahui jarak ideal gardu.

Tabel 2. Jatuh Tegangan MRT Untuk Menentukan Jarak Ideal Gardu Traksi

No.	Jarak Antara Gardu Traksi A dan B (km)	Jarak MRT Terhadap Gardu Traksi A (km)	Jatuh Tegangan (V _{DC})	Pengaturan Tegangan (%)
1.	1	0,5	46,255	3,084
2.	2	0,5	23,128	1,542
		1	92,510	6,167
		1,5	69,383	4,626
3.	3	0,5	77,092	5,139
		1	123,347	8,223
		1,5	138,765	9,251
		2	123,347	8,223
		2,5	77,092	5,139



Gambar 6. Grafik Tegangan Jatuh Lebak bulus – Sisingamangaraja Untuk Menentukan Jarak Ideal Gardu Traksi

4.4. Pembahasan Penelitian

Setelah dilakukan perhitungan jatuh tegangan pada MRT dari Lebak Bulus - Sisingamangaraja dapat dilihat pada tabel ternyata pada jarak MRT saat 1,5 km – 2,5 km terhadap gardu traksi A atau B terdapat jatuh tegangan yang melebihi dari batasan tegangan minimum yang telah ditentukan dari SPLN 1:1995, ketentuan standar minimum jatuh tegangan berdasarkan SPLN adalah +5% dan -10%. Tegangan jatuh tertinggi di gardu traksi Lebak Bulus – Cipete Raya adalah saat jarak MRT terhadap gardu traksi itu sekitar 2 km yang dimana mengalami tegangan jatuh sebesar 176,8 VDC atau sekitar 11,8%. Sedangkan gardu traksi Cipete Raya – Sisingamangaraja mengalami jatuh tegangan sebesar 202,3 VDC atau 13,5% pada jarak MRT terhadap gardu adalah 2 km. Peneliti juga melakukan perhitungan untuk penempatan jarak gardu traksi yang ideal untuk dapat menjadi pertimbangan PT MRT Jakarta dalam meminimalisir tegangan jatuh karena dengan peletakkan gardu traksi yang lebih optimal maka akan membuat sistem kelistrikannya menjadi lebih bagus, peralatan

akan berjalan sesuai yang direncanakan atau lifetime yang dimana umur peralatan menjadi lebih panjang dan berkurangnya gangguan yang bisa mengakibatkan kerusakan pada peralatan lainnya. Jarak gardu yang ideal untuk mengurangi jatuh tegangan pada jalur layang MRT harus diletakkan setiap jarak sekitar 2 km. Pada intinya semakin pendek jarak antara gardu traksi A dan gardu traksi B maka nilai jatuhnya tegangannya juga semakin kecil. Jadi, untuk menguranginya jatuh tegangan pihak PT MRT dapat menambahkan gardu hubung atau gardu traksi dengan kapasitas yang sesuai dengan kebutuhan di wilayah tersebut.

5. Kesimpulan

1. Berdasarkan Jatuh tegangan yang terjadi di jalur layang MRT dari gardu traksi Lebak Bulus – Sisingamangaraja disebabkan oleh jarak antar gardu traksi tersebut sekitar ± 4 km.
2. Jatuh tegangan tertinggi pada MRT Jakarta dari Lebak Bulus – Sisingamangaraja terjadi saat jarak MRT terhadap gardu traksi Cipete Raya sejauh 2 km yang dimana tegangan jatuhnya bernilai 202,3 V_{DC} atau 13,5%.
3. Setelah dilakukan perhitungan untuk penempatan jarak ideal pada gardu traksi dengan menggunakan permisalan jarak antar gardu 1 km sampai 3 km, dapat disimpulkan bahwa untuk penempatan jarak antar gardu yang ideal untuk mengurangi jatuh tegangan yaitu ± 2 km karena pada jarak tersebut tidak melebihi ketentuan dari tegangan minimum.

Daftar Pustaka

- [1] 'Annual Report MRT Jakarta 2018.pdf'. Accessed: Jan. 23, 2021. [Online]. Available: <https://jakartamrt.co.id/sites/default/files/2020-07/Annual-Report-MRT-Jakarta-2018.pdf>.
- [2] 'PT MRT JAKARTA, "MRTJ CP107 Railway System and Trackwork," 2017'.
- [3] R. Zulfikar, 'OPTIMASI PENEMPATAN GARDU TRAKSI LISTRIK ALIRAN ATAS (LAA) BERDASARKAN DROP VOLTAGE UNTUK MENINGKATKAN KEANDALAN PASOKAN DAYA LISTRIK', other, Universitas Pendidikan Indonesia, 2017.
- [4] A. Saputra, 'Studi Evaluasi Analisa Perhitungan Kapasitas Daya Gardu

Traksi Terhadap Kebutuhan KRL Jalur Depok-Manggarai', p. 8.

- [5] R. F. Rahman, 'Studi Jaringan listrik aliran atas dan catu daya kereta rel listrik rute Duri - Tangerang', *SKRIPSI-2012*, Jul. 2016, Accessed: Jan. 23, 2021. [Online]. Available: http://www.repository.trisakti.ac.id/webopac_usaktiana/index.php/home/detail/detail_koleksi/8/SKR/th_terbit/0000000000000000081940/2012.
- [6] M. Ridwan, ST, *Gardu Traksi Traction Substation*. 2013.
- [7] H. Maghfiroh, *Teknologi Kereta Api; Sistem dan Rolling Stock*. .
- [8] S. Sudirham, *Analisis Sistem Tenaga*. Darpublic, Kanayakan D-30, Bandung, 40135, 2012.
- [9] 'PEDOMAN PERAWATAN SINTELIS', *PT KAI PERSERO*, p. 144.
- [10] A. Ridwan, 'ANALISA GARDU HUBUNG SEBAGAI PENYALUR TEGANGAN PADA JARINGAN LISTRIK ALIRAN ATAS PT. KAI (Persero) WILAYAH STASIUN MANGGARAI', *undefined*, 2014./paper/ANALISA- GARDU-HUBUNG-SEBAGAI-PENYALUR-TEGANGAN-PADA-Ridwan/4363af1a140faa9229ae47b41aea058d74203ac5 (accessed Jan. 23, 2021).
- [11] A. Nursalina, 'Analisis tegangan jatuh pada jaringan distribusi tegangan rendah di penyulang kendeng', *SKRIPSI-2020*, Sep. 2020, Accessed: Jan. 23, 2021. [Online]. Available: http://www.repository.trisakti.ac.id/webopac_usaktiana/index.php/home/detail/detail_koleksi/0/SKR/judul/0000000000000000102291/ANA%20NURSALINA.
- [12] S. Anwar, 'Studi efektifitas "public announcement" pada kasus "blackout" listrik kereta mrt Jakarta', *SKRIPSI-2020*, Sep. 2020, Accessed: Jan. 23, 2021. [Online]. Available: http://www.repository.trisakti.ac.id/webopac_usaktiana/index.php/home/detail/detail_koleksi/8/SKR/judul/0000000000000000102250/MRT.
- [13] Z. K. Zimam, 'Pemanfaatan energi pengereman regeneratif motor induksi 3 fasa 126 kw 74 hz mrt Jakarta', *SKRIPSI-2020*, Sep. 2020, Accessed: Jan. 23, 2021. [Online]. Available: http://www.repository.trisakti.ac.id/webopac_usaktiana/index.php/home/detail/detail_koleksi/8/SKR/judul/0000000000000000102321/MRT.
-

[14] C. Wicaksono, Akhwan, and A. Rizkinda Putri, 'ANALISA DAYA DUKUNG GARDU TRAKSI KRANJI PADA PENGOPERASIAN KERETA BANDARA SOEKARNO – HATTA', p. 7, 2018.