

ANALISIS KAPASITAS *TRACTION POWER SUBSTATION* (TPSS) PADA SAAT KONDISI DARURAT PADA TPSS JATIMULYA – JATIBENING BARU UNTUK PENGOPERASIAN *LIGHT RAIL TRANSIT* (LRT) JABODEBEK

¹Padmundana, ²Budiono, ³Hafid Ilham Rosyadi

¹²³Program Studi Teknik Elektro, FTI, Institut Teknologi Budi Utomo Jakarta
padmundana@itbu.ac.id

Abstrak

Traction Power Substation (TPSS) merupakan infrastruktur vital yang berperan penting dalam menjamin keberlangsungan operasional Kereta LRT di Indonesia. Pada kondisi darurat, seperti bencana alam atau gangguan teknis, TPSS dituntut memiliki kapasitas daya yang memadai agar operasional kereta tetap berjalan secara aman dan andal. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan kapasitas TPSS dalam kondisi darurat, khususnya pada ruas Jatimulya–Jatibening Baru, dengan skenario kegagalan salah satu TPSS yang terhubung secara paralel sehingga tidak dapat digunakan untuk mendukung operasional LRT. Metode penelitian dilakukan dengan membandingkan kapasitas daya TPSS pada kondisi normal dan kondisi darurat, disertai analisis data serta perhitungan berdasarkan spesifikasi teknis masing-masing TPSS. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada kondisi normal dengan headway aktual 10 menit, seluruh TPSS memiliki nilai pembebanan di bawah 100% sehingga mampu beroperasi secara kontinu. Namun, pada simulasi kondisi darurat ketika salah satu TPSS padam dengan headway 10 menit, hanya TPSS Cikunir 2 dan TPSS Bekasi Barat yang mampu saling mem-backup secara terus-menerus, sementara TPSS lainnya hanya dapat beroperasi maksimal selama 2 jam akibat persentase pembebanan mencapai 100% hingga 150%. Selanjutnya, pada kondisi darurat dengan penyempitan headway menjadi 5 menit, TPSS yang mengalami pembebanan sebesar 150% hingga 300% hanya mampu beroperasi dalam rentang waktu 1–5 menit. Temuan ini menunjukkan bahwa meskipun TPSS masih mampu menopang operasional pada kondisi tertentu, diperlukan strategi dan perencanaan yang lebih optimal untuk meningkatkan keandalan suplai daya dalam menghadapi kondisi darurat, guna menjamin keselamatan dan kelancaran operasional Kereta LRT Jabodebek.

Kata Kunci : *Traction Power Substation* (TPSS), headway, *Light Rail Transit* (LRT), Kapasitas Daya, Suplai Daya

1. PENDAHULUAN

Light Rail Transit (LRT) Jabodebek merupakan moda transportasi berbasis rel yang dirancang sebagai solusi transportasi yang efisien dan ramah lingkungan untuk mengurangi kemacetan serta emisi gas rumah kaca di kawasan perkotaan, khususnya wilayah Jakarta, Bogor, Depok, dan Bekasi. LRT Jabodebek memiliki peran strategis dalam mendukung sistem transportasi publik yang terintegrasi di Indonesia. Pembangunannya didasarkan pada Peraturan Presiden Nomor 98 Tahun 2015 tentang Percepatan Penyelenggaraan Kereta Api Ringan/LRT yang terintegrasi di wilayah Jabodebek, dengan PT Kereta Api Indonesia (KAI) ditunjuk sebagai operator LRT Jabodebek [1]. LRT Jabodebek melayani rute Stasiun Dukuh Atas–Jatimulya dan Stasiun Dukuh Atas–Harjamukti.

Agar dapat beroperasi secara optimal, LRT Jabodebek memerlukan fasilitas operasi yang andal, meliputi sistem persinyalan, telekomunikasi, dan instalasi listrik.

Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM.12 Tahun 2011 tentang Persyaratan Teknis Instalasi Listrik Perkeretaapian, instalasi listrik berfungsi untuk menggerakkan kereta listrik, mengoperasikan sistem persinyalan dan telekomunikasi, serta mendukung fasilitas penunjang lainnya [2]. Instalasi listrik perkeretaapian terdiri dari *Traction Power Substation* (TPSS) sebagai catu daya dan peralatan transmisi tenaga listrik. TPSS berperan mengubah tegangan listrik dari sistem kelistrikan utama menjadi tegangan yang sesuai dengan kebutuhan operasional kereta LRT.

TPSS Jatimulya–Jatibening Baru merupakan salah satu TPSS yang menyuplai daya listrik bagi pengoperasian LRT pada lintasan Stasiun Jatimulya hingga Stasiun Jatibening Baru. Pada kondisi normal, TPSS mampu menyediakan daya sesuai dengan kapasitas yang telah direncanakan. Namun, dalam kondisi darurat seperti gangguan teknis, bencana alam, atau kegagalan sistem, TPSS

harus tetap mampu mendukung operasional secara efektif dan efisien. Oleh karena itu, analisis kapasitas TPSS pada kondisi darurat menjadi sangat penting untuk memastikan keandalan operasional dan kontinuitas pasokan daya.

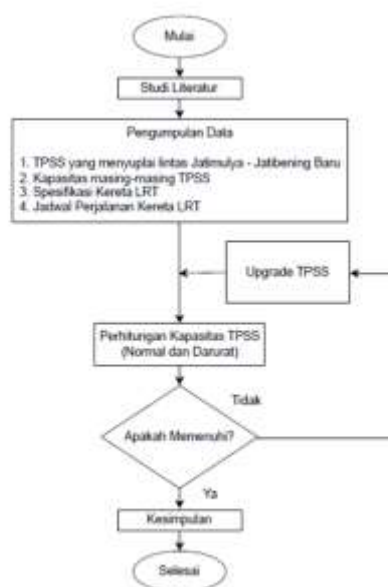
Analisis ini mencakup penilaian kemampuan TPSS dalam menyuplai daya saat terjadi gangguan. TPSS Jatimulya–Jatibening Baru dipasang secara paralel untuk meningkatkan keandalan pasokan, meskipun konfigurasi tersebut berpotensi menimbulkan risiko kegagalan ketika salah satu TPSS padam. Jika beban dialihkan ke TPSS yang masih beroperasi, perhitungan kapasitas daya yang tepat diperlukan untuk mencegah overload. Perhitungan kapasitas TPSS pada kondisi darurat dapat dilakukan dengan menghitung daya *output* TPSS dan menganalisis kemampuan TPSS dalam memenuhi kebutuhan daya untuk operasional LRT Jabodebek.

LRT Jabodebek menerima pasokan listrik sebesar 750 VDC. Sumber tegangan ini berasal dari suplai listrik PLN sebesar 20 kV AC, yang kemudian diturunkan menjadi 590 VAC melalui *transformator step-down*. Selanjutnya, tegangan 590 VAC tersebut diubah menjadi arus searah (DC) sebesar 750 VDC oleh *rectifier*. Tegangan 750 VDC ini disalurkan melalui Rel Ketiga (*Third Rail*) dan diteruskan ke rangkaian kereta LRT melalui CCD (*Current Collector Device*) [3]. Sistem elektrifikasi dari LRT memiliki keuntungan dalam segi kereta listrik seperti bobot kereta lebih ringan, percepatan lebih cepat, emisi karbon yang sangat sedikit agar ramah lingkungan dan lainnya [4].

2. METODOLOGI

Jenis penelitian yang digunakan adalah metode kuantitatif, yaitu dengan cara mengumpulkan data yang bersumber dari PT KAI (Divisi LRT Jabodebek) yang selanjutnya digunakan untuk melakukan perhitungan menggunakan rumus yang sesuai.

Untuk menentukan kapasitas daya TPSS yang dibutuhkan maka perhitungan yang dilakukan meliputi jarak pengisian TPSS, daya maksimum dalam 1 jam, kapasitas daya berdasarkan headway seperti yang terlihat pada persamaan (1) – (4) [5].



Gambar 1. Diagram Alir
Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

$$D = \frac{1}{2} (B - A) + \frac{1}{2} (C - B) \quad (1)$$

$$Y = S \times D \times \left(\frac{60}{N}\right) \times 2 \times 50 \times \left(\frac{W}{1000}\right) \quad (2)$$

$$Z1 = Y + 1,7 \times \square I_{maks} \times \square Y \quad (3)$$

$$Zn = Z1/2,5 \quad (4)$$

Keterangan :

D = Jarak pengisian TPSS (km)

(B – A) = Jarak TPSS A ke TPSS B (km)

(C – B) = Jarak TPSS B ke TPSS C (km)

Y = Daya maksimum dalam satu jam (kW)

S = Komposisi rangkaian kereta LRT Jabodebek (set)

D = Jarak pengisian TPSS (km)

H = Headway perjalanan kereta LRT (menit)

N = 2 (untuk jalur ganda), 1 (untuk jalur tunggal)

P = Asumsi tingkat konsumsi energi 50 Wh/ton-km

W = Berat total kereta LRT dan total penumpang 200%

Z1 = Kapasitas daya berdasarkan headway

Y = Daya maksimum dalam satu jam

Zn = Kapasitas daya TPSS yang dibutuhkan (kW)

Z1 = Kapasitas daya berdasarkan *headway* (kW)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Stasiun Lintas Jatimulya – Jatibening Baru

No	Nama Stasiun	Letak KM
1	Jatimulya	17 + 400
2	Bekasi Barat	13 + 702
3	Cikunir 2	10 + 472
4	Cikunir 1	9 + 172
5	Jatibening Baru	6 + 512

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Tabel 2. Jarak Antar TPSS

No	Lokasi TPSS	KM Awal	KM Akhir	Jarak (km)
1	Jatimulya - Bekasi	17,400	14,940	2,460
2	Bekasi – Bekasi Barat	14,940	13,400	1,540
3	Bekasi Barat – Cikunir 2	13,400	11,660	1,740
4	Cikunir 2 – Cikunir 1	11,660	9,900	1,760
5	Cikunir 1 – Jatibening Baru	9,900	6,490	3,410

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Tabel 2. Kapasitas TPSS

No	Nama Stasiun	Kapasitas Rectifier Terpasang (kW)
1	Jatimulya	3.000
2	Bekasi Barat	3.000
3	Cikunir 2	3.000
4	Cikunir 1	3.000
5	Jatibening Baru	3.000

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Tabel 4. Standar Pembebanan Rectifier

No	Pembebanan	Kemampuan
1	100 %	<i>Continous</i>
2	150 %	120 menit
3	200 %	5 menit
4	300 %	1 menit

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Perhitungan dilakukan dengan cara menghitung jumlah setengah dari jarak TPSS Depo ke Jatimulya dan setengah jarak dari TPSS Jatimulya ke Bekasi. Parameter untuk perhitungan jarak pengisian TPSS Bekasi adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{KM TPSS Depo} &= 19 + 000 \text{ (Sebagai TPSS A)} \\ \text{KM TPSS Jatimulya} &= 17 + 400 \text{ (Sebagai TPSS B)} \\ \text{KM TPSS Bekasi} &= 14 + 940 \text{ (Sebagai TPSS C)} \end{aligned}$$

Maka perhitungan jarak pengisian TPSS Jatimulya dapat menggunakan persamaan (1)

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{2} (B - A) + \frac{1}{2} (C - B) \\ &= \frac{1}{2} (17,400 - 19,000) + \frac{1}{2} (14,940 - 17,400) \\ &= 0,8 + 1,230 \\ &= 2,03 \text{ km} \end{aligned}$$

Tabel 5. Jarak Pengisian TPSS

No	Lokasi TPSS	Jarak Pengisian (km)
1	Jatimulya	2,03
2	Bekasi	2,00
3	Bekasi Barat	1,64
4	Cikunir 2	1,75
5	Cikunir 1	2,58
6	Jatibening Baru	2,64

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Perhitungan daya maksimum dalam satu jam (Y) TPSS Jatimulya dapat menggunakan persamaan (2)

$$\begin{aligned} Y &= S \times D \times \left(\frac{60}{H}\right) \times N \times P \times \left(\frac{W}{1000}\right) \\ &= 6 \times 2,03 \times \left(\frac{60}{10}\right) \times 2 \times 50 \times \left(\frac{353,16}{1000}\right) \\ &= 2.580,89 \text{ kW} \end{aligned}$$

Maka kapasitas daya berdasarkan *headway* (Z1) TPSS Jatimulya dapat diketahui menggunakan persamaan (3)

$$\begin{aligned} Z1 &= Y + 1,7 \times \sqrt{I_{maks}} \times \sqrt{Y} \\ &= 2.580,89 + 1,7 \times \sqrt{1.610} \times \sqrt{2.580,89} \\ &= 6.046,24 \text{ kW} \end{aligned}$$

Selanjutnya dapat diketahui besarnya kapasitas daya yang dibutuhkan (Zn) pada TPSS Jatimulya dengan menggunakan persamaan (4)

$$\begin{aligned} Zn &= \left(\frac{Z1}{2,5}\right) \\ &= \left(\frac{6.046,24}{2,5}\right) \\ &= 2.418,50 \text{ kW} \end{aligned}$$

Tabel 6. Hasil Perhitungan Kapasitas TPSS dalam kondisi normal

KONDISI NORMAL					
No	TPSS	Hasil Perhitungan (kW)	Kapasitas Rectifier Terpasang (kW)	Persentase Kapasitas TPSS	Kondisi sesuai PM 50 tahun 2018
1	Jatimulya	2.418,50	3000	81%	Continue
2	Bekasi	2.392,96	3000	88%	Continue
3	Bekasi Barat	2.079,92	3000	69%	Continue
4	Cikunir 2	2.176,96	3000	79%	Continue
5	Cikunir 1	2.874,74	3000	98%	Continue
6	Jatibening Baru	2.923,31	3000	97%	Continue

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Tabel 7. Hasil perhitungan kapasitas TPSS dalam kondisi darurat

KONDISI DARURAT							
No	TPSS yang Padam	Hasil Perhitungan (kW)	Headway (menit)	Hasil Perhitungan (kW)	Kapasitas Rectifier Terpasang (kW)	Persentase Kapasitas TPSS	Kondisi sesuai PM 50 tahun 2018
1	Jatimulya	Bekasi	10 (aktual)	3.051,88	3000	102%	2 Jam
	Bekasi	5	5.150,13	3000	172%	5 Menit	
2	Bekasi	Jatimulya	10 (aktual)	3.051,88	3000	102%	2 Jam
	Jatimulya	5	5.150,13	3000	172%	5 Menit	
	Bekasi Barat	10 (aktual)	3.107,70	3000	104%	2 Jam	
	Bekasi Barat	5	5.249,91	3000	175%	5 Menit	
3	Bekasi Barat	Bekasi	10 (aktual)	3.107,70	3000	104%	2 Jam
	Bekasi	5	5.249,91	3000	175%	5 Menit	
	Cikunir 2	10 (aktual)	2.825,94	3000	94%	Continue	
	Cikunir 2	5	4.747,30	3000	158%	5 Menit	
	Bekasi Barat	10 (aktual)	2.825,94	3000	94%	Continue	
	Bekasi Barat	5	4.747,30	3000	158%	5 Menit	
4	Cikunir 2	Cikunir 1	10 (aktual)	3.565,39	3000	119%	2 Jam
	Cikunir 1	5	6.071,48	3000	203%	1 Menit	
	Cikunir 2	10 (aktual)	3.565,39	3000	119%	2 Jam	
	Cikunir 2	5	6.071,48	3000	203%	1 Menit	
5	Jatibening Baru	Jatibening Baru	10 (aktual)	3.619,22	3000	121%	2 Jam
	Jatibening Baru	5	6.168,45	3000	206%	1 Menit	
	Cikunir 1	10 (aktual)	3.619,22	3000	121%	2 Jam	
6	Jatibening Baru	Cikunir 1	5	6.168,45	3000	206%	1 Menit
	Cikunir 1	5	6.168,45	3000	206%	1 Menit	

Sumber Data : Hasil Olahan Data Penelitian

Berdasarkan Tabel 6, perhitungan kebutuhan daya TPSS pada kondisi normal untuk pengoperasian LRT Jabodebek dengan headway aktual 10 menit menunjukkan bahwa TPSS Jatimulya membutuhkan daya sebesar 2.418,50 kW, TPSS Bekasi 2.392,96 kW, TPSS Bekasi Barat 2.079,92 kW, TPSS Cikunir 2 2.176,96 kW, TPSS Cikunir 1 2.874,74 kW, dan TPSS Jatibening Baru 2.923,31 kW. Keenam TPSS tersebut memiliki persentase pembebanan di bawah 100%, sehingga berdasarkan persyaratan pembebanan rectifier pada Tabel 4, seluruh TPSS masih mencukupi dan mampu beroperasi secara terus-menerus.

Selanjutnya, berdasarkan simulasi pada Tabel 7 dengan skenario salah satu TPSS padam dan headway tetap 10 menit, diperoleh hasil sebagai berikut. Saat TPSS Jatimulya padam, TPSS Bekasi mem-backup dengan daya 3.051,88 kW. Saat TPSS Bekasi padam, TPSS Jatimulya dan TPSS Bekasi Barat mem-backup masing-masing sebesar 3.051,88 kW dan 3.107,70 kW. Saat TPSS Bekasi Barat padam, TPSS Bekasi dan TPSS Cikunir 2 mem-backup sebesar 3.107,70 kW dan 2.825,94 kW. Saat TPSS Cikunir 2 padam, TPSS Bekasi Barat dan TPSS Cikunir 1 mem-backup sebesar 2.825,94 kW dan 3.565,39 kW. Saat TPSS Cikunir 1 padam, TPSS Cikunir 2

dan TPSS Jatibening Baru mem-backup sebesar 3.565,39 kW dan 3.619,22 kW. Saat TPSS Jatibening Baru padam, TPSS Cikunir 1 mem-backup sebesar 3.619,22 kW. Pada kondisi ini, TPSS dengan persentase pembebanan di bawah 100% hingga 200% masih mampu beroperasi secara terus-menerus.

Pada kondisi darurat dengan salah satu TPSS padam dan headway dipersempit menjadi 5 menit, terjadi peningkatan pembebanan yang signifikan. Daya backup berkisar antara 4.747,20 kW hingga 6.168,45 kW dengan persentase pembebanan 158% hingga 206%. Berdasarkan persyaratan pembebanan pada Tabel 4, TPSS dengan pembebanan 100% hingga 300% pada kondisi ini hanya mampu beroperasi maksimal selama 1 menit.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis perhitungan kapasitas TPSS untuk mensuplai daya listrik pada TPSS lintas Jatimulya – Jatibening Baru saat kondisi darurat dapat disimpulkan bahwa:

- Berdasarkan perhitungan kebutuhan daya TPSS dalam kondisi normal untuk pengoperasian LRT Jabodebek dengan headway aktual yaitu 10 menit, hasil perhitungan TPSS Jatimulya sebesar 2.418,50 kW, TPSS Bekasi, sebesar 2.392,96 kW, TPSS Bekasi Barat sebesar 2.079,92 kW, TPSS Cikunir 2 sebesar 2.176,96 kW, TPSS Cikunir 1 sebesar 2.874,74 kW, dan TPSS Jatibening Baru sebesar 2.923,31. Seluruh TPSS tersebut memiliki persentase pembebanan dibawah 100% sehingga mampu beroperasi secara terus menerus.
- Jika dilakukan simulasi dengan salah satu TPSS padam dengan headway aktual yaitu 10 menit maka hanya TPSS Cikunir 2 yang dapat mem-backup secara terus-menerus ketika TPSS Bekasi Barat padam dan TPSS Bekasi Barat yang dapat mem-backup secara terus-menerus ketika TPSS Cikunir 2 padam, karena kedua TPSS tersebut memiliki persentase pembebanan dibawah 100%, serta TPSS lainnya hanya mampu beroperasi paling lama selama 2 jam saja, karena memiliki persentase pembebanan 100% hingga 150%.
- Ketika dilakukan perhitungan dalam kondisi darurat saat salah satu TPSS padam dengan penyempitan headway menjadi 5 menit, maka semua TPSS yang memiliki persentase

pembebanan 150% hingga 300% hanya mampu beroperasi selama 1 - 5 menit saja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Perpres Nomor 98 Tahun 2015”.
- [2] “MENTERIPERHUBUNGAN REPUBLIK INDONESIA.”
- [3] Sugianto, H. A. Alfiansyah, V. Hadi, and Ariman, “Analisa Perhitungan Kapasitas Daya Gardu Traksi Pada Kereta Rel Listrik,” *J. Presisi*, vol. 25, no. 2, pp. 1–15, 2023.
- [4] H. I. Arjiansah and Umar, “Penggunaan Suplai Daya Rel Ketiga dan Rugi-Rugi Sistem Propulsi Pada Light Rail Transit (LRT),” *Simp. Nas. RAPI XX – 2021 FT UMS*, pp. 167–174, 2021.
- [5] E. Haryatmi and R. Setyo Wibowo, “Analisis Kapasitas Daya Pada Gardu Traksi Lintas Bojonggede – Bogor Menggunakan Kereta Rel Listrik Seri EA 203,” *J. Perkeretaapi. Indones. (Indonesian Railw. Journal)*, vol. 6, no. 1, pp. 1–13, 2022, doi: 10.37367/jpi.v6i1.193.