

PENGUNAAN SUPLAI DAYA REL KETIGA DAN RUGI-RUGI SISTEM PROPULSI PADA *LIGHT RAIL TRAINSIT* (LRT)

Huzeil Iqbal Arjiansah¹, Umar²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani, Mendungan, Pabelan, Kartasura 57169 Telp 0271 725448
Email: huzeiliqbal@gmail.com

Abstrak

Kereta jenis *Light Rail Trainsit* (LRT) sebagai salah satu kereta listrik berbasis sistem kelistrikan dari gardu listrik. LRT membutuhkan tenaga traksi dari listrik aliran bawah (LAB). Penelitian ini membahas sistem kerja dari rel ketiga atau *third rail* untuk sistem propulsi dan rugi-rugi sistem propulsi LRT. LAB pada LRT membutuhkan tenaga listrik DC dengan tegangan sebesar 1500 V disalurkan melalui rel ketiga atau *third rail* yang sebagai perantara bersifat konduktor berupa tegangan DC sebesar 750 V terletak di samping atau berdekatan dengan rel kereta utama. Penggunaan *third rail* sebagai tenaga traksi listrik yang dialirkan melalui *current collector drive* yang bersentuhan dengan *stainless steel* untuk disalurkan ke sistem penggerak atau propulsi dan sistem pembebanan atau sistem *auxiliary* untuk LRT. Sistem propulsi LRT terdapat beberapa komponen diantaranya HV Box Cabinet, HSCB, Inverter VVVF, Braking Resistor, Motor Traksi, dan Earthing Equipment yang memiliki rugi-rugi dan efisiensi berbeda. Inverter VVVF IGBT sebagai pembahasan dengan pengujian dengan tegangan yaitu 160 V, 321 V, 493 V, dan 565 V. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa rugi-rugi terendah pada tegangan 565 V dengan rugi daya IGBT 16,248 kW, rugi daya dioda 30,312 kW, rugi total yang diperoleh 46,570 kW, dan efisiensi menghasilkan 89,50%. Sedangkan untuk rugi-rugi tertinggi terdapat pada tegangan 160 V dengan rugi daya IGBT sebesar 40,917 kW, rugi daya dioda 47,832 kW, rugi total 88,749 kW, dan efisiensi sebesar 80,3%. Hal ini terjadi dikarenakan besarnya tegangan output yang didapat, maka efisiensi diperoleh semakin besar dan sebaliknya.

Kata kunci: rel ketiga; sistem propulsi; rugi daya; efisiensi; inverter VVVF IGBT

Pendahuluan

Perkembangan transportasi di Indonesia mendukung kegiatan perekonomian agar berjalan dengan baik yang salah satunya adalah transportasi kereta api yang mana menjadi pilihan tepat untuk menunjang kebutuhan masyarakat untuk mengatasi kemacetan “Dari sisi kapasitas, masalah bisa diatasi dengan kereta api karena punya kapasitas besar (1). Jadi pengembangan perkeretaapian di Indonesia wajib dilakukan” tutur Menteri Perhubungan, Budi Karya Sumadi dalam webinar *Railway – Universities Link : Railway Research and Education Outlook* (2). Direktur KAI dengan DPR, berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2006-2019, jumlah penumpang kereta api tercatat mencapai 429 juta penumpang. Jumlah ini meningkat 1,63% dibanding tahun 2018 yang mencapai 422 juta penumpang. Dari data tersebut dijelaskan bahwa minat masyarakat terhadap transportasi kereta api meningkat dari tahun ke tahun yang bertujuan untuk mengurangi kemacetan serta dapat mendukung produk dan industri kereta api dalam negeri (3).

Kereta api di Indonesia saat ini mengalami perubahan yang semula dari tenaga uap hingga tenaga listrik yang disebut dengan kereta listrik. Kereta listrik merupakan kereta yang memanfaatkan energi listrik sebagai penggerak lokomotif dan gerbong untuk membawa barang dan penumpang. Beberapa jenis kereta listrik seperti Kereta Rel Listrik (KRL), *Mass Rapid Transit* (MRT), dan *Light Rail Transit* (LRT). Dari jenis kereta tenaga listrik tersebut memiliki persamaan yakni bergerak diatas rel, tidak menggunakan lokomotif, menggunakan tenaga listrik sebagai penggerakannya. Namun, ada perbedaan diantaranya ukuran kereta untuk daya angkut dan sumber daya listrik. KRL dan MRT menggunakan daya listrik diatas kereta yang disebut Listrik Aliran Atas (LAA), sementara LRT menggunakan daya listrik bawah kereta yang disebut Listrik Aliran Bawah (LAB).

LRT sangat menunjang kebutuhan transportasi efisien, maka efisiensi pada LRT harus diperhatikan dengan baik agar terciptanya sistem kerja yang maksimal terutama pada sistem suplai daya dan sistem kelistrikan kereta. Sistem suplai daya menggunakan rel ketiga atau disebut *third rail*. *Third rail* merupakan suatu metode untuk menyalurkan tenaga kereta dengan konduktor sepanjang rel. *Third rail* dapat beroperasi jika diberikan berupa arus DC untuk suplai daya sebesar 750 VDC. Sementara sistem kelistrikan LRT untuk menggerakkan kereta

menggunakan sistem propulsi pada *Inverter VVVF IGBT*. Untuk mencapai efisiensi, penelitian ini menggunakan sistem propulsi sebagai penunjang agar terciptanya sistem kerja yang maksimal.

Light Rail Transit (LRT)

Light Rail Transit (LRT) adalah kereta rel yang bergerak dengan menggunakan tenaga listrik sebagai sumber utama. LRT sebagai sarana transportasi kereta listrik untuk mencakup kebutuhan masyarakat di wilayah Jabodetabek.

Sebuah kereta membutuhkan tenaga untuk menggerakkan mulai dari generator, alternator, hingga terbaru menggunakan tegangan listrik. LRT sebagai salah satu tenaga penggerak menggunakan tegangan listrik. Penggunaan sumber tersebut lebih efisien dan lebih hemat dibanding jenis kereta sebelumnya dikarenakan desain menggunakan komponen yang hemat energi dan kerangka kereta yang lebih ringan serta cocok untuk daerah perkotaan karena ramah lingkungan dan mengurangi kemacetan. 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.



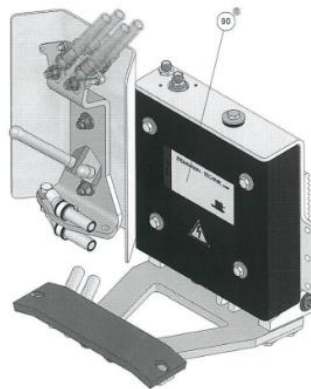
Gambar 1. Konfigurasi satu set jenis *Light Rail Transit* (LRT) Jabodetabek

Gambar 1 merupakan bagian MC1 dan MC2 sebagai ruang kemudi dan kontrol dalam 1 set kereta LRT. Sistem penggerak roda kereta menggunakan motor traksi terpasang pada kereta MC1, M1, M2 dan MC2. Kereta T1 dan T2 difungsikan untuk sistem tanpa beban atau sebagai sistem pembantu LRT

Rel Ketiga atau *Third Rail*

Setiap sistem traksi memiliki keuntungan dan kerugian. Umumnya, rel ketiga atau *third rail* dengan tegangan DC adalah sistem elektrik yang menguntungkan dan menyalurkan tegangannya yang cocok untuk transportasi perkotaan (4). Sistem elektrik Light Rail Transit (LRT) memperoleh listrik dari listrik aliran bawah (LAB) dengan tegangan tinggi 750 VDC. Suplai LAB terdapat saluran penghantar listrik dari gardu ke kereta dengan memanfaatkan rel ketiga atau *third rail*. *Third Rail* merupakan rel khusus yang berguna untuk menghantarkan listrik melalui konduktor yang terletak disamping atau di dekat dengan jalur kereta. *Third rail* adalah metode untuk penyediaan tenaga kereta melalui perantara sepanjang rel kereta.

Rel ketiga dengan tegangan disalurkan melalui perangkat yang disebut *Current Collector Drive* (CCD). CCD merupakan komponen perangkat yang terhubung disamping motor traksi kereta rel ketiga terpisah dengan rel kereta (5). Gambar 2 merupakan gambar dari CCD.



Gambar 2. *Current Collector Device* (CCD)

Komponen utama yang terdapat pada rel ketiga atau *third rail* diantaranya :

- Stainless steel* atau baja adalah rel bersifat konduktor yang menghantarkan daya untuk kereta rel listrik melalui terowongan dan ditempatkan sejajar dengan dua rel lainnya.
- Contact rail insulators* atau insulator rel kontak terbuat dari fiberglass dan untuk pemasangannya di setiap lokasi braket pendukung.
- Protection board* atau papan pelindung ditempatkan diatas rel kontak baja untuk melindungi personel agar tidak terjadi kontak langsung dengan rel
- Protection board bracket* atau braket papan pelindung dipasang pada pengikat kayu atau pengikat beton dan berfungsi untuk menopang papan pelindung pada jarak diatas rel kontak baja.
- Third rail insulated* atau lengan jangkar berinsulasi ditempatkan di titik tengah setiap bagian yang panjang maksimum dibatasi hingga 1 km atau 1 mil.

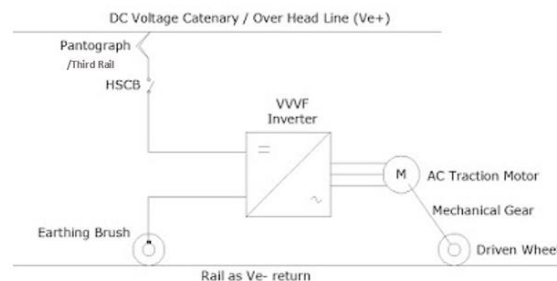
Rugi-Rugi pada Sistem Propulsi

Kereta jenis *Light Rail Transit* (LRT) memiliki sistem propulsi yang merupakan sistem sebagai penggerak dengan menggunakan motor traksi. Sistem transportasi umum yang berkelanjutan seperti LRT yang menggunakan

sistem propulsi atau penggerak listrik lebih diminati yang menawarkan dampak polusi yang lebih rendah dan memungkinkan perjalanan lebih mulus untuk penumpang (6). Beberapa komponen bentuk sistem propulsi di antaranya :

- Motor traksi merupakan jenis motor listrik yang biasa digunakan pada dunia perkeretaapian.
- High Voltage* (HV) Box berfungsi untuk memilih antara inputan dari Stinger. Didalam komponen HV Box terdiri dari Change Over Switch (COS) dan *arrester*, pada unit gerbong MC terdapat komponen tambahan yakni *Fuse*, Dioda, dan *Fan*.
- High Speed Circuit Breaker* (HSCB) berfungsi sebagai pemutus arus yang berkecepatan tinggi yang membatasi arus DC dengan menggunakan sistem pendingin udara
- Brake Resistor* berfungsi sebagai sistem pendingin untuk menurunkan suhu resistor ketika kereta melaju yang terpasang seri di atap kereta.
- Earthing Equipment* berfungsi sebagai grounding pada sistem propulsi kereta.
- Inverter Variable Voltage Variable Frequency* (VVVF) berfungsi sebagai pengubah atau inverter yang memiliki variable output berupa tegangan dan frekuensi untuk mengatur kecepatan motor traksi pada kereta.

Sistem propulsi menggunakan inverter 3 fasa pada *Light Rail Transit* (LRT) menggunakan jenis *Inverter Variable Voltage Variable Frequency* (VVVF) yang mendapat aliran listrik dari Listrik Aliran Bawah (LAB) berupa tegangan DC. Gambar 3 atau desain *Inverter VVVF* pada *Light Rail Transit* (LRT) sebagai berikut :



Gambar 3. Skema komponen sistem propulsi *Light Rail Transit* (LRT)

Metode

Studi Literatur

Penelitian dimulai dengan melakukan kajian mulai dari mencari jurnal di internet dan download berupa artikel, website, dan jurnal guna untuk menemukan referensi sebagai masalah yang akan diteliti.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh di PT.Industri Kereta Api (Persero) untuk mengambil dan mengumpulkan data berupa materi rel ketiga atau third rail, spesifikasi kereta, komponen penyusun sistem propulsi, daya yang dibutuhkan kereta, data *sheet* pada dioda dan pengujian pada tahap final testing kereta *Light Rail Transit* (LRT).

Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan setelah mendapatkan dari pengumpulan data yang telah didapat dan melakukan analisis perhitungan serta referensi untuk mempermudah penelitian. Referensi dari (6);(7);(8);(9);(10).

Tegangan DC diubah menjadi tegangan AC oleh *inverter* bertujuan untuk menggerakkan motor traksi. *Inverter VVVF* pada LRT Jabodebek menggunakan *VVVF-IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)*. Inverter *VVVF-IGBT* merupakan *inverter* dengan menggunakan arus skala kecil dengan besar tegangan yang sedang. Besarnya aliran rugi-rugi atau rugi kecil karena daya yang hilang saat pergantian frekuensi relatif kecil, meskipun frekuensi pergantian cukup besar. *Inverter IGBT* terdapat *PWM (Pulse Width Modulation)* yang bertujuan untuk mengatur *output inverter* sesuai dengan berbagai tegangan dan frekuensi. Cara membangkitkan *PWM* dengan cara membandingkan tegangan referensi dan *carrier* oleh komparator dengan rumus :

$$D = \frac{V_r}{V_c} \quad (1)$$

Keterangan :

D = Duty Cycle

V_r = Tegangan Referensi (V)

V_c = Tegangan *Carrier* (V)

Inverter *VVVF-IGBT* tersusun dari komponen dioda dan memiliki jenis rugi-rugi yakni rugi-rugi konduksi dan rugi-rugi pensaklaran (*switching*).

Rumus untuk mencari rugi-rugi konduksi :

$$P_{cond} = n \times V_{CESAT} \times I_c \times D \quad (2)$$

Keterangan :

P_{cond} = Daya Konduksi (V)

n = Jumlah IGBT

V_{CESAT} = Tegangan Satu Rasi CE (V)

I_C = Arus Collector (A)

D = Duty Cycle

Rumus untuk mencari rugi-rugi switching :

$$P_{sw} = n \times \frac{(E_{on} + E_{off}) \times I_{pk} \times f_{sw} \times V_{dc}}{\pi \times I_{nom} \times V_{nom}} \quad (3)$$

Keterangan :

P_{sw} = Daya Switching (V)

n = Banyaknya IGBT

E_{on} = Daya on (Watt)

E_{off} = Daya off (Watt)

I_{pk} = Arus Puncak (A)

f_{sw} = Frekuensi Switching (Hz)

V_{dc} = Tegangan DC (V)

I_{nom} = Arus Nominal (A)

V_{nom} = Tegangan Nominal (V)

Nilai daya konduksi dan daya switching didapat kemudian dijumlahkan untuk mencari nilai total daya dan nilai daya output didapat dari pengurangan daya input dengan daya total.

Rumus untuk mencari daya total :

$$P_{total} = P_{cond} + P_{sw} \quad (4)$$

Keterangan :

P_{total} = Daya Total (kW)

Rumus untuk mencari daya total :

(5)

Keterangan :

P_{output} = Daya Keluaran (kW)

P_{input} = Daya Masukan Inverter (kW)

Modul terdapat pada Inverter VVVF-IGBT memiliki komponen semi konduktor yaitu dioda yang tersusun secara parallel. Dioda adalah komponen yang memiliki dua terminal anoda dan katoda dimana arus inputan searah disebut keadaan konduktansi dan ketika dalam keadaan pemblokiran arus, peralihan kondisi dioda on ke off disebut reverse.

Rumus untuk mencari rugi-rugi konduktansi :

$$P_{cond} = V_F \times I_F \quad (6)$$

Keterangan :

P_{cond} = Rugi Konduksi (Watt)

V_F = Tegangan Forward (V)

I_F = Arus Forward (A)

Rumus untuk mencari rugi-rugi reserve recovery :

$$P_{rec.dioda} = \frac{E_{rec} \times I_{pk} \times f_{sw} \times V_{dc}}{\pi \times I_{nom} \times V_{nom}} \quad (7)$$

Keterangan :

$P_{rec.dioda}$ = Rugi Reverse Recovery (Watt)

E_{rec} = Daya Recovery (Watt)

I_{pk} = Arus Puncak (A)

f_{sw} = Frekuensi Switching (Hz)

V_{dc} = Tegangan DC (V)

I_{nom} = Arus Nominal (A)

V_{nom} = Tegangan Nominal (V)

Rumus untuk rugi daya total dioda :

$$P_{total} = n \times (P_{cond} + P_{rec.dioda}) \quad (8)$$

Keterangan :

P_{total} = Daya Total (kW)

n = Jumlah Dioda

Perhitungan dari rugi-rugi inverter VVVF-IGBT dan dioda menghasilkan beberapa rumus rugi daya total :

$$P_{total} = P_{rugi\ IGBT} + P_{rugi\ dioda} \quad (9)$$

Keterangan :

$P_{rugi\ IGBT}$ = Hasil Rugi IGBT (kW)

$P_{rugi\ dioda}$ = Hasil Rugi Dioda (kW)

Rumus untuk mencari efisiensi :

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \times 100\% \quad (10)$$

Keterangan :

η = Efisiensi

Hasil dan Pembahasan

Pembahasan mengenai Rel Ketiga atau *Third Rail*

Energi listrik sebagai tenaga utama untuk menggerakkan kereta dari power plant yang ditransmisikan menuju gardu listrik berupa tegangan AC yang kemudian diubah menjadi tegangan DC melalui *rectifier* yang bertempat dekat gardu listrik pada pusat aliran bawah (LAB) dengan menggunakan rel ketiga atau *third rail*. Dengan energi listrik berupa tegangan 1500 VDC. Untuk rel ketiga mendapat tegangan DC sebesar 750 VDC yang berfungsi untuk sistem propulsi atau penggerak kereta melalui komponen penghubung *Current Collector Device (CCD)*. Agar kereta beroperasi dengan baik, kereta yang memenuhi standar tegangan dalam sistem elektrifikasi sesuai standar BS EN 5016 dan IEC 60850.

Perhitungan Rugi-Rugi Sistem Propulsi

Perhitungan untuk nilai rugi-rugi sistem propulsi terdapat pada *Inverter* VVVF dengan nilai pada tegangan 565 V dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai tegangan output 565 V

No	Keterangan Daerah Kerja	Nilai yang Didapat
1	Pengujian 4	565 V
2	Pin	450 kW
3	Vr	0,65 V
4	Vc	4 V
5	Vcesat	3,25 V
6	Eon	225 Watt
7	Eoff	150 Watt
8	Inom	1500 A
9	Vnom	1500 V
10	Ipk	265,48 A
11	Ic	1500 V
12	Fsw	200 Hz
13	Vdc	1500 V

Perhitungan Rugi-Rugi IGBT :

Berdasarkan persamaan (1) maka dapat diperoleh perhitungan untuk Nilai *Duty Cycle*:

$$D = \frac{0,650}{4} = 0,162$$

Persamaan (2) diperoleh dengan perhitungan untuk Rugi Daya Konduksi :

$$P_{cond} = 6 \times 3,25 \times 1500 \times 0,162 = 4,738 \text{ kW}$$

Persamaan (3) diperoleh dengan perhitungan untuk Rugi Daya Switching :

$$P_{sw} = 6 \times \frac{(225 + 150) \times 265,48 \times 200 \times 1500}{3,14 \times 1500 \times 3300}$$

$$P_{sw} = 6 \times 1,92 \text{ kW} = 11,52 \text{ kW}$$

Persamaan (4) diperoleh dengan perhitungan untuk Rugi Daya Total :

$$P_{total} = 4,738 + 11,52 = 16,25 \text{ kW}$$

Persamaan (5) diperoleh dengan perhitungan Rugi Daya Output :

$$P_{output} = 450 - 16,25 = 433,75 \text{ kW}$$

Persamaan (10) diperoleh dengan perhitungan Nilai Efisiensi :

$$Efisiensi = \frac{433,75}{450} \times 100\% = 96,4\%$$

Perhitungan Rugi-Rugi Dioda :

Perhitungan rugi-rugi pada dioda yang memiliki dua jenis rugi-rugi yaitu rugi-rugi konduksi dan rugi-rugi reverse recovery dengan nilai pada tegangan output 565 V dengan jenis Dioda RM1800HE-34S dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Nilai besaran dari jenis dioda RM1800HE-34S

No	Keterangan Daerah Kerja	Nilai
1	Vf	2,2 V
2	If	1800 A
3	VGE	15 V
4	RG	1 ohm

Rugi Reserve-Recovery

$$P_{cond} = V_F \times I_F = 2,2 \times 1800 = 3,9 \text{ kW}$$

Rugi Reserve-Recovery

$$E_{rec} = \frac{V_{GE}^2}{R_G} = \frac{15^2}{1} = 225 \text{ W}$$

Nilai diode tegangan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai dioda tegangan output 565 V

No	Keterangan Daerah Kerja	Nilai
1	Tegangan 3	565 VDC
2	E.rec	225 W
3	Ipk	265,48 A
4	Vdc	1500 V
5	Vnom	1500 V
6	Inom	1500 A
7	Fsw	200 Hz

Persamaan (7) diperoleh dengan perhitungan Rugi Daya Reserve Recovery :

$$P_{rec.dioda} = \frac{225 \times 265,48 \times 200 \times 1500}{3,14 \times 1500 \times 3300} = 1,152 \text{ kW}$$

Persamaan (8) diperoleh dengan perhitungan Rugi Daya Total :

$$P_{total} = 6 \times (3,9 + 1,152) = 30,31 \text{ kW}$$

Perhitungan Rugi-Rugi Inverter VVVF-IGBT :

Persamaan (9) diperoleh dengan perhitungan Rugi Daya Total :

$$P_{total} = 16,258 + 30,312 = 46,57 \text{ kW}$$

Persamaan (5) diperoleh dengan perhitungan Rugi Daya Output :

$$P_{output} = 450 + 46,57 = 403,43 \text{ kW}$$

Persamaan (10) diperoleh dengan perhitungan Nilai Efisiensi :

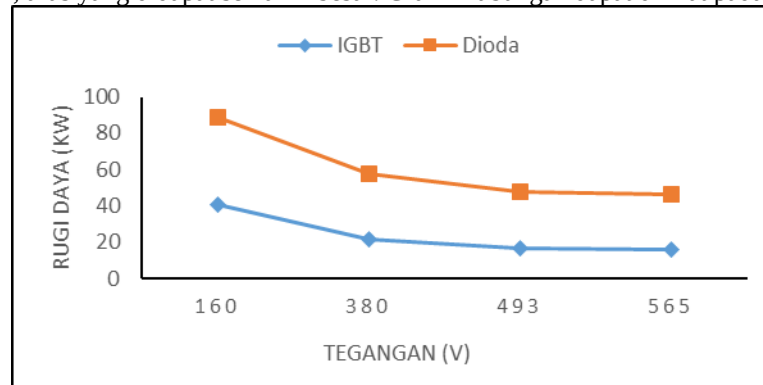
$$Efisiensi = \frac{403,430}{450} \times 100\% = 86,5\%$$

Hasil Perhitungan :

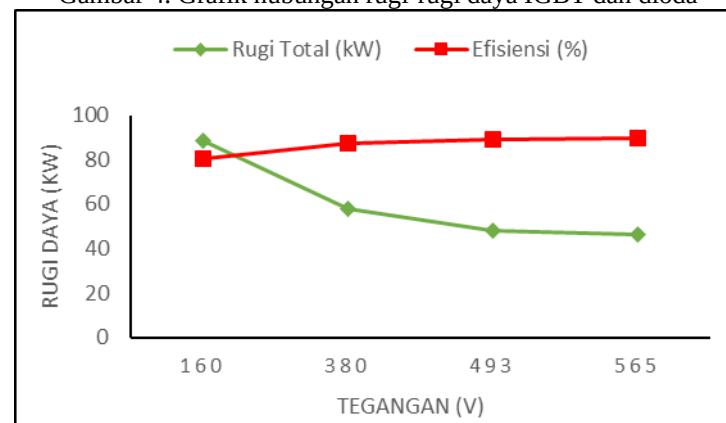
Tabel 4. Hasil perhitungan rugi-rugi inverter VVVF IGBT

No	Tegangan Output	Daya Input Inverter	Rugi Daya IGBT	Rugi Daya Dioda	Rugi Total	Efisiensi
1	160 V	450 V	40,91 kW	47,83 kW	88,74 kW	80,30%
2	380 V	450 V	21,74 kW	35,56 kW	57,71 kW	87,17%
3	493 V	450 V	16,66 kW	31,30 kW	47,97 kW	89,34%
4	565 V	450 V	16,25 kW	30,31 kW	46,57 kW	89,50%

Tabel 4 menunjukkan bahwa nilai setiap tegangan *output* yang memiliki hasil yang berbeda. Besarnya efisiensi yang diperoleh dari semakin besar nilai tegangan output yang didapat. Hal tersebut terjadi jika besarnya tegangan bernilai kecil, arus yang didapat semakin besar. Grafik hubungan dapat dilihat pada gambar 5 dan 6.



Gambar 4. Grafik hubungan rugi-rugi daya IGBT dan dioda



Gambar 5 Grafik hubungan rugi total dengan efisiensi inverter VVVF IGBT

Kesimpulan

Hasil dari penelitian dapat disimpulkan bahwa penggunaan suplai daya dengan rel ketiga atau *third rail* sebagai sistem kelistrikan yang dialirkan melalui *current collector drive* yang bersentuhan dengan *stainless steel* untuk disalurkan ke sistem penggerak atau propulsi dan sistem pembebanan atau sistem *auxiliary* untuk LRT. Hasil untuk nilai rugi-rugi pada Inverter VVVF IGBT untuk sistem propulsi terendah terdapat pada tegangan 565 V dengan nilai rugi daya IGBT sebesar 16,258 kW, nilai rugi daya dioda sebesar 30,31 kW, nilai rugi total yang diperoleh sebesar 46,57 kW efisiensi menghasilkan tinggi sebesar 89,50%. Sedangkan untuk nilai rugi-rugi tertinggi terdapat pada tegangan 160 V dengan rugi daya IGBT sebesar 40,91 kW, rugi daya dioda 47,83 kW, rugi total 88,74 kW, dan efisiensi rendah sebesar 80,3%. Hal ini terjadi dikarenakan besarnya tegangan output yang didapat, maka efisiensi yang diperoleh semakin besar dan sebaliknya.

Adapun saran yang dapat diberikan dalam penelitian ini adalah sebaiknya dilakukan analisis lebih dalam mengenai rugi rugi daya dan efisiensi dengan melakukan penelitian pengujian yang lebih dalam karena rugi-rugi pada sistem propulsi sangat berpengaruh terhadap sistem kinerja dari kereta.

Daftar Pustaka

1. Putra AY H. Manajemen Transportasi : Faktor-Faktor Pemilihan Moda Terhadap Kinerja Angkutan Melalui Kualitas Pelayanan LRT (Light Rail Transit) Pada Masyarakat Kota Palembang. J Manaj Dan Bisnis Sriwij. 2020;18(3):195–211.

2. Librianty A. Menhub Susun Rencana Induk Perkeretaapian Nasional 2030, Apa Isinya? www.liputan6.com. 2021.
3. Lokadata. Jumlah Penumpang Kereta Api, 2006-2019. www.lokadata.beritagar.id.
4. Rahman FAA, Kadir MZAA, Osman M, Amirulddin UAU. Review of the AC Overhead Wires, the DC Third Rail and the DC Fourth Rail Transit Lines: Issues and Challenges. *IEEE Access*. 2020;8:213277–95.
5. Forman KG. Aluminum/stainless steel conductor technology: A case for its adoption in the US. 2013 *Jt Rail Conf JRC* 2013. 2013;1–6.
6. Puchalsky CM. Comparison of Emissions from Light Rail Transit and Bus Rapid Transit. *Transp Res Rec*. 2005;(1927):31–7.
7. Jamal A, Chamim ANN, Putra KT, Lestari SI, Jusman Y. Loss Analysis of Propulsion System on an Electric Railway. *J Electr Technol UMY*. 2018;2(2):59–72.
8. Rao N, Chamund D. Calculating power losses in an IGBT module. Application note. 2007. p. 1–16.
9. Hafezi H, Faranda R. A new approach for power losses evaluation of IGBT/diode module. *Electron*. 2021;10(3):1–21.
10. Transportation R, Committee S, Vehicular I, Society T. *IEEE Guide for Rail Transit Traction Power Systems Modeling* IEEE Vehicular Technology Society. 2013.