

LAPORAN TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENYIMPANAN ENERGI Pengereman
REGENERATIF SEBAGAI ENERGI CADANGAN PADA
KERETA MRT JAKARTA MENGGUNAKAN
METODE *BENCHMARKING***

Diajukan guna melengkapi sebagian syarat dalam mencapai gelar
Sarjana Strata Satu (S1)



Nama : Pungky Ario Prabowo
N.I.M . : 41419120108
Pembimbing : Yudhi Gunardi, ST. MT.

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MERCU BUANA
JAKARTA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISIS PENYIMPANAN ENERGI Pengereman REGENERATIF SEBAGAI ENERGI CADANGAN PADA KERETA MRT JAKARTA MENGUNAKAN METODE *BENCHMARKING*



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Disusun oleh:

Nama : Pungky Ario Prabowo
NIM : 41419120108
Program Studi : Teknik Elektro

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

(Yudhi Gunardi, ST. MT.)

Kaprodi Teknik Elektro

(Dr. Ir. Eko Ihsanto, M.Eng.)

Koordinator Tugas Akhir

(Muhammad Hafizd Ibnu Hajar, ST., M.Sc.)

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Pungky Ario Prabowo

NIM : 41419120108

Program Studi : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Judul Tugas Akhir : Analisis Penyimpanan Energi Pengereman Regeneratif
sebagai Energi Cadangan pada Kereta MRT Jakarta
Menggunakan Metode *Benchmarking*

Dengan ini menyatakan bahwa hasil penulisan Laporan Tugas Akhir yang telah saya buat ini merupakan hasil karya sendiri dan benar keasliannya. Apabila ternyata dikemudian hari penulisan Laporan Tugas Akhir ini merupakan hasil plagiat atau penjiplakan terhadap karya orang lain, maka saya bersedia mempertanggungjawabkan sekaligus bersedia menerima sanksi berdasarkan aturan di Universitas Mercu Buana

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tidak dipaksakan.

UNIVERSITAS
MERCU BUANA

Jakarta, 18 Agustus 2021



(Pungky Ario Prabowo)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan kasih dan anugerah-Nya, sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan. Salawat beserta salam ditunjukkan kepada Rasulullah Muhammad SAW yang telah membawa syafaat bagi kita semua umatnya. Tugas akhir ini berjudul “**Analisis Penyimpanan Energi Pengereman Regeneratif sebagai Energi Cadangan pada Kereta MRT Jakarta Menggunakan Metode *Benchmarking***” dibuat guna melengkapi salah satu syarat untuk mendapatkan gelar sarjana Teknik Elektro Universitas Mercu Buana Jakarta.

Ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu, baik secara moril, materil, maupun sumbang puikiran, khususnya kepada berikut ini.

- 1) Keluarga dan khususnya orang tua yang tidak pernah lelah mendoakan dan mendukung penulis dengan penuh sabar dan kasih sayang.
- 2) Bapak Dr. Eko Ihsanto, M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Mercu Buana.
- 3) Bapak Yudhi Gunardi, ST. MT. selaku Dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan petunjuk dan arahnya dalam membuat tugas akhir ini.
- 4) Ibu dan Bapak Dosen, yang senantiasa selalu siap menjadi tempat bagi penulis untuk memberikan wawasan dan ilmu pengetahuannya.
- 5) Teman-teman kelas Teknik Elektro angkatan 36, yang selama satu setengah tahun saling mendukung satu sama lain.

Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak, baik bagi rekan-rekan mahasiswa Mercu Buana, rekan mahasiswa universitas lainnya, semua pembaca serta bagi penulis khususnya. Semoga kekurangan yang da apada karya tulis ini dapat diperbaiki di masa mendatang dan kelebihanya dapat dipertahankan bahkan dikembangkan menjadi lebih baik lagi.

Jakarta, 18 Agustus 2021

Penulis

ABSTRAK

Kereta yang dioperasikan oleh PT MRT Jakarta adalah Kereta Rel Listrik (KRL) yang mana sumber daya utamanya menggunakan listrik. Listrik tersebut didapat dari proses elektrifikasi. Sama seperti KRL Jabodetabek yang dioperasikan oleh PT Kereta Commuter Indonesia (KCI) saat ini menggunakan catu daya listrik arus DC yang dialirkan melalui jaringan transmisi listrik aliran atas. Akan tetapi, berkaca dari kejadian padam listrik serentak di area pulau jawa yang pernah terjadi pada Minggu, 4 Agustus 2019 yang menyebabkan Kereta api listrik berhenti beroperasi dan pada kereta MRT Jakarta khususnya sempat terjadi kepanikan penumpang yang terjebak di bawah tanah. Riset dibidang perkeretaapian terus dilakukan untuk menemukan sumber cadangan energi dan menekan konsumsi energi kereta api listrik. Salah satu cara untuk mengurangi konsumsi energi kereta listrik adalah dengan menggunakan metode *regenerative braking*.

Beberapa cara yang dilakukan untuk meningkatkan pemanfaatan listrik hasil *regenerative braking* yaitu pengaturan penjadwalan, *reversible substation*, dan pemasangan *traction energy storage system* (TESS). Penelitian dilakukan dengan membandingkan teknologi dari Toshiba dengan teknologi yang digunakan MRT Jakarta saat ini dengan tujuan untuk mendapatkan perbandingan performa yang terbaik. *Toshiba's Traction Energy Storage System (TESS)* secara efisien menyimpan kelebihan energi regeneratif di SCiB™ dan melepaskannya ke akselerasi kereta.

Energi yang dibangkitkan dari *regenerative braking* disimpan dalam baterai TESS sehingga dapat digunakan saat catu daya utama dari gardu traksi mati. Dengan energi sebesar 194 kWh (pengisian baterai penuh dalam waktu 2,5 hari perjalanan kereta) yang dihasilkan dari *regenerative braking* MRTJ dapat menggerakkan 5 kereta dengan konsumsi energi sebesar 88,02 kWh antara gardu traksi Sisingamangaraja dan Dukuh Atas (terowongan) pada saat catu daya utama mati.

Kata Kunci : *Regenerative*, pengereman, energi, cadangan, *Traction Energy Storage System (TESS)*

ABSTRACT

The trains operated by PT MRT Jakarta are Electric Rail Trains (KRL) whose main power source uses electricity. The electricity is obtained from the electrification process. Just like the Jabodetabek KRL which is operated by PT Kereta Commuter Indonesia (KCI) currently uses a DC electric power supply that is flowing through an overhead power transmission network. However, reflecting on the simultaneous power outage in the Java Island area that happened on Sunday, August 4, 2019, which caused electric trains to stop operating and on the Jakarta MRT train in particular, there was panic among passengers trapped underground. Research in the field of railways continues to be carried out to find energy reserves and reduce energy consumption of electric trains. One way to reduce the energy consumption of electric trains is to use the regenerative braking method.

Several ways to increase the utilization of electricity resulting from regenerative braking are scheduling arrangements, reversible substation, and installation of a traction energy storage system (TESS). The research was conducted by comparing the technology from Toshiba with the technology used by MRT Jakarta today in order to get the best performance comparison. Toshiba's Traction Energy Storage System (TESS) efficiently stores excess regenerative energy in the SCiB™ and releases it into train acceleration.

The energy generated from regenerative braking is stored in the TESS battery so that it can be used when the main power supply from the traction substation is off. With an energy of 194 kWh (full battery charge within 2.5 days of a trip) generated from regenerative braking the MRTJ can drive 5 trains with an energy consumption of 88.02 kWh between the Sisingamangaraja traction substation and Dukuh Atas (tunnel) during the main power supply is off.

Keywords : *Regenerative, brake, back-up, energy, Traction Energy Storage System (TESS)*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR ISTILAH	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Metode Penelitian.....	4
1.6 Sistematika Penulisan	5
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 Tinjauan Pustaka	7
2.2 <i>Regenerative Brake</i>	9
2.3 Sistem Kelistrikan MRT Jakarta	12
2.4 RSS (<i>Receiving Sub Station</i>)	13
2.4.1 GIS (<i>Gas Insulated Switchgear</i>)	13
2.4.2 <i>Main Transformator</i>	14
2.4.3 Panel (<i>Switchgear</i>) 20kV	14
2.5 TSS (<i>Traction Sub Station</i>) atau GT (<i>Gardu Traksi</i>)	14
2.5.1 Panel (<i>Switchgear</i>) 20kV	16
2.5.2 Transformator Rectifier.....	16

2.5.3	Silicon Rectifier/Penyearah.....	16
2.5.4	DC 1500 V <i>Switchgear</i>	16
2.5.5	<i>Negative panel</i>	17
2.5.6	Panel LV MDB	17
2.6	<i>Overhead Catenary System</i> atau Listrik Aliran Atas	17
2.6.1	<i>Feeder Wire</i>	18
2.6.2	<i>Feeder Branch</i>	18
2.6.3	<i>Contact Wire</i>	18
2.6.4	<i>Messenger Wire</i>	19
2.6.5	<i>Hanger</i>	19
2.6.6	<i>Insulator</i>	19
2.6.7	<i>Hinged Cantilever</i>	19
2.6.8	<i>Automatic Tensioning Device (ATD)</i>	19
2.6.9	<i>Overhead Ground Wire (OHGW)</i>	19
2.6.10	Konektor.....	20
2.7	PDS (<i>Power Distribution System</i>).....	20
2.8	Kereta	20
2.9	<i>Traction Energy Storage System (TESS)</i>	21
BAB III METODE PENELITIAN		24
3.1	Tahapan Penelitian	24
3.2	Studi Literatur	25
3.2.1	Spesifikasi Kereta MRTJ	25
3.2.2	Konfigurasi Kereta MRTJ	26
3.2.3	Performa Kereta MRTJ	28
3.2.4	Konsumsi Energi Kereta MRTJ	29
3.3	Metode <i>Benchmarking</i>	29
3.3.1	TESS sebagai <i>Line Voltage Stabilization</i>	30
3.3.2	TESS sebagai Penyimpanan Energi Cadangan	31
3.3.3	TESS sebagai <i>Emergency Power Supply</i>	32
3.4	Analisis.....	33
3.4.1	Perhitungan Nilai Pengereman Regeneratif Kereta MRTJ	34
3.4.2	Perhitungan Energi Regeneratif yang Dihasilkan	34

3.4.3	Perhitungan Pemanfaatan Energi Regeneratif	35
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN		36
4.1	Energi Regeneratif yang Dihasilkan	36
4.1.1	Perhitungan Nilai Pengereman Regeneratif Kereta MRTJ	36
4.1.2	Perhitungan Energi Regeneratif yang Dihasilkan	37
4.2	Skema Stasiun dan Jarak Antar Gardu.....	37
4.3	Pemanfaatan Energi <i>Regenerative Brake</i>	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		41
5.1	Kesimpulan	41
5.2	Saran.....	41
DAFTAR PUSTAKA		42
LAMPIRAN.....		44



UNIVERSITAS
MERCU BUANA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses <i>Regenerative Brake</i>	10
Gambar 2.2	Kendaraan berakselerasi.....	11
Gambar 2.3	Kendaraan berdeselerasi	11
Gambar 2.4	Diagram Alir Daya Listrik Ke Sarana KRL	15
Gambar 2.5	<i>OCS Feeding System</i>	17
Gambar 2.6	Sistem suplai dua sisi gardu	18
Gambar 2.7	Motor Car	21
Gambar 2.8	Kereta MRT Jakarta	21
Gambar 2.9	Penempatan TESS diantara 2 gardu traksi	22
Gambar 3.1	<i>Flow chart</i> penelitian.....	24
Gambar 3.2	Konfigurasi Kereta.....	26
Gambar 3.3	<i>Train Performance</i> MRTJ	28
Gambar 3.4	Jarak antar stasiun di area Noda-Toyoshiki <i>Substation</i>	31
Gambar 3.5	Grafik pengaruh pemasangan TESS di Tobu Railway	31
Gambar 3.6	Penempatan TESS di Okinawa City Monorail	32
Gambar 3.7	Grafik Total Konsumsi Energi Traksi di Okinawa City Monorail	32
Gambar 3.8	Ilustrasi <i>gradient</i> jalan dari Stasiun Ayase ke Stasiun Kita-Senju	33
Gambar 4.1	Skema operasi St. Lebak Bulus-Blok A	37
Gambar 4.2	Skema operasi St. Blok M-Bundaran HI	38
Gambar 4.3	Diagram blok TESS	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Kereta.....	25
Tabel 3.2	Spesifikasi Sistem Propulsi	26
Tabel 3.3	Beban Kereta	27
Tabel 3.4	Tabel Akselerasi	27
Tabel 3.5	Konsumsi Energi Kereta MRTJ.....	29
Tabel 3.6	Spesifikasi dan Rating TESS.....	30
Tabel 3.7	Beban Puncak di Sueyoshi <i>Substation</i>	32
Tabel 3.8	<i>Field Test Condition</i> untuk TESS di Ayase <i>Substation</i>	33
Tabel 4.1	Jarak Antar Gardu	38
Tabel 4.2	<i>Emergency Power Supply</i>	40



DAFTAR ISTILAH

Singkatan	Keterangan
TESS	<i>Traction Energy Storage System</i>
KRL	Kereta Rel Listrik
RSS	<i>Receiving Sub Station</i>
PDS	<i>Power Distribution System</i>
OCS	<i>Overhead Catenary System</i>
LAA	Listrik Aliran Atas
TSS	<i>Traction Sub Stasion</i>
GT	Gardu Traksi



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Jadwal Perjalanan Kereta MRTJ

Lampiran 2 Grafik Perjalanan Kereta MRTJ

