ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN EMISI CO2 BUS LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA STUDI KASUS BUS TRANS JOGJA
JALUR 3B
ANGATA RISMANA, Rachmawan Budiarto, S.T., M.T.; Dr. Ir. Andang Widiharto, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**

PERNYATAAAN BEBAS PLAGIARISME ..... **ii**

HALAMAN PENGESAHAN ..... **iii**

HALAMAN TUGAS ..... **iv**

HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **v**

HALAMAN MOTTO ..... **vi**

KATA PENGANTAR ..... **vii**

DAFTAR ISI ..... **ix**

DAFTAR GAMBAR ..... **xii**

DAFTAR TABEL ..... **xiv**

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN ..... **xv**

INTISARI ..... **xix**

ABSTRACT ..... **xx**

BAB I PENDAHULUAN **1**

I.1 Latar Belakang 1
I.2 Perumusan Masalah 2
I.3 Batasan Masalah 2
I.4 Tujuan 3
I.5 Manfaat 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **4**

BAB III DASAR TEORI **7**

III.1 Skenario Penggunaan Energi Indonesia di Masa Mendatang 7
III.2 Kendaraan Listrik 8
III.2.1 Jenis Kendaraan Listrik 10

ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN EMISI CO2 BUS LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA STUDI KASUS BUS TRANS JOGJA JALUR 3B
ANGATA RISMANA, Rachmawan Budiarto, S.T., M.T.; Dr. Ir. Andang Widiharto, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

III.2.2 Jenis Bus Listrik 14
III.3 Siklus Berkendara 16
III.4 Usaha dan Gaya Bekerja Pada Bus 16
III.4.1 *Rolling Ressistance Force* 18
III.4.2 Gaya Aerodinamis 19
III.4.3 *Hill Climb Force* 19
III.4.4 Gerak Lurus Beraturan 19
III.4.5 Gerak Lurus Berubah Beraturan 20
III.5 *Regenerative Braking System* 20
III.6 Motor Listrik 23
III.7 Efisiensi dan Daya Mesin 26
III.8 Perhitungan Emisi CO_2 26
III.9 Pembangkitan Energi Untuk Bus Listrik 28
III.10 Sistem Pengisian Baterai Bus Listrik 31
BAB IV PELAKSANAAN PENELITIAN 33
IV.1 Alat Penelitian 33
IV.2 Tata Laksana Penelitian 34
IV.2.1 Studi Literatur 36
IV.2.2 Pengumpulan Data 36
IV.2.3 Pengambilan Data Operasional Trans Jogja 36
IV.2.4 Pengolahan Data Siklus Berkendara 37
IV.2.5 Pemilihan Bus Listrik 37
IV.2.6 Perhitungan Konsumsi Energi 38
IV.2.7 Perhitungan Emisi CO_2 39
IV.3 Rencana Analisis Hasil 39
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 40
V.1 Bus Trans Jogja Jalur 3B 40
V.2 Siklus Berkendara Trans Jogja Jalur 3B 42
V.3 Pemilihan Bus Listrik 48
V.5 Pendekatan Konsumsi Energi Bus 50

ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN EMISI CO2 BUS LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA STUDI KASUS BUS TRANS JOGJA JALUR 3B
ANGATA RISMANA, Rachmawan Budiarto, S.T., M.T.; Dr. Ir. Andang Widiharto, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

V.6 Konsumsi Energi Bus ICE 53
V.7 Konsumsi Energi Bus Listrik 56
V.8 Perbandingan Konsumsi Energi Bus ICE dan Bus Listrik 60
V.8.1 Perbandingan Konsumsi Energi Trans Jogja Jalur 3B dan 3A 61
V.9 Perhitungan Emisi CO_2 62
V.10 Pengisian Baterai Bus Listrik 63
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 67
VI.1 Kesimpulan 67
VI.2 Saran 68
DAFTAR PUSTAKA 69
LAMPIRAN 71
LAMPIRAN A: Spesifikasi bus Trans Jogja 72
LAMPIRAN B: Data Spesifikasi *Hybrid Electric Buses* 76
LAMPIRAN C: Data Spesifikasi *Battery Electric Buses* 78
LAMPIRAN D: Perhitungan Gaya Per Lampu Lalu Lintas 80
LAMPIRAN E: Perhitungan Emisi CO_2 Bus Listrik Secara Rinci 90
LAMPIRAN F: Skenario Bauran Energi Nasional 92

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN EMISI CO2 BUS LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA STUDI KASUS BUS TRANS JOGJA JALUR 3B
ANGATA RISMANA, Rachmawan Budiarto, S.T., M.T.; Dr. Ir. Andang Widiharto, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Proyeksi bauran energi nasional di masa mendatang 8
Gambar 3.2 Perbandingan skema kendaraan ICE dan listrik 10
Gambar 3.3 Skema sistem BEV 11
Gambar 3.4 Skema sistem HEV secara seri 12
Gambar 3.5 Skema sistem HEV secara paralel 13
Gambar 3.6 Skema sistem FCEV dengan sistem penyimpan daya 14
Gambar 3.7 *Regenerative braking system* (RBS) 22
Gambar 3.8 Grafik hubungan efisiensi *regenerative braking* terhadap deselerasi 22
Gambar 3.9 Motor industri dan traksi: (a) Motor DC, (b) IM, (c) PMSM, (d) SRM 24
Gambar 3.10 Tampilan PMSM pada roda kendaraan 25
Gambar 3.11 Tampilan SRM pada roda mobil Fiat Downtown 26
Gambar 3.12 Skema pengisian energi dari pembangkit listrik hingga kendaraan listrik 28
Gambar 3.13 Struktur pengisian sistem AC 31
Gambar 3.14 Struktur pengisian sistem DC 32
Gambar 4.1 GPS Garmin eTrex 10 34
Gambar 4.2 Diagram alir penelitian 35
Gambar 5.1 Bus Trans Jogja 40
Gambar 5.2 Rute Trans Jogja jalur 3B 41
Gambar 5.3 Profil elevasi Trans Jogja jalur 3B 42
Gambar 5.4 Grafik siklus berkendara Trans Jogja jalur 3B sampai detik ke 2000 dan siklus berkendara *braunschweig* 44
Gambar 5.5 Grafik siklus berkendara penuh Trans Jogja jalur 3B 45
Gambar 5.6 Data pengukuran siklus berkendara Trans Jogja jalur 3B 46
Gambar 5.7 Grafik akselerasi, konstan dan deselerasi kecepatan 51
Gambar 5.8 Pendekatan perhitungan gaya per lampu lalu lintas bus ICE (contoh: lampu lalu lintas nomor 1) 51

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN EMISI CO2 BUS LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA STUDI KASUS BUS TRANS JOGJA JALUR 3B
ANGATA RISMANA, Rachmawan Budiarto, S.T., M.T.; Dr. Ir. Andang Widiharto, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Gambar 5.9 Grafik laju *discharging* baterai tanpa pengisian 64
Gambar 5.10 Grafik simulasi pengisian baterai pada bus listrik 65

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN EMISI CO2 BUS LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA STUDI KASUS BUS TRANS JOGJA JALUR 3B
ANGATA RISMANA, Rachmawan Budiarto, S.T., M.T.; Dr. Ir. Andang Widiharto, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Perbedaan jenis bus berdasarkan sumber energi dan alat penggerak 10
Tabel 3.2 Efisiensi pembangkit energi listrik 29
Tabel 3.3 Bauran energi Indonesia di masa mendatang 30
Tabel 4.1 Spesifikasi GPS Garmin eTrex 10 33
Tabel 4.2 Rincian dan waktu pengambilan data 37
Tabel 4.3 Spesifikasi kendaraan bermotor untuk bus perkotaan DIY (Pelayanan Khusus) 38
Tabel 5.1 Parameter siklus berkendara Trans Jogja jalur 3B 47
Tabel 5.2 Perbandingan spesifikasi bus ICE dan bus listrik 48
Tabel 5.3 Contoh perhitungan gaya pada lampu lalu lintas nomor 1 bus ICE 52
Tabel 5.4 Hasil perhitungan W tiap lampu lalu lintas bus ICE 54
Tabel 5.5 Hasil perhitungan konsumsi energi bus ICE Trans Jogja jalur 3B 55
Tabel 5.6 Parameter perhitungan konsumsi energi bus listrik 56
Tabel 5.7 Hasil perhitungan W tiap lampu lalu lintas bus listrik 57
Tabel 5.8 Hasil perhitungan konsumsi energi bus listrik studi kasus Trans Jogja jalur 3B 58
Tabel 5.9 Nilai pembangkitan energi untuk bus listrik bedasarkan bauran energi Indonesia di masa mendatang 59
Tabel 5.10 Hasil perhitungan konsumsi energi bus ICE dan bus listrik 60
Tabel 5.11 Perbandingan konsumsi energi Trans Jogja jalur 3B dan 3A 61
Tabel 5.12 Total emisi yang dihasilkan bus ICE 62
Tabel 5.13 Total emisi bus listrik pada bauran energi Indonesia tahun 2025-2050 ... 62

UNIVERSITAS GADJAH MADA
ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN EMISI CO2 BUS LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA STUDI KASUS BUS TRANS JOGJA JALUR 3B
ANGATA RISMANA, Rachmawan Budiarto, S.T., M.T.; Dr. Ir. Andang Widiharto, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang

Lambang	Kuantitas	Satuan
a	akselerasi	m/s^2
A_f	luas penampang kendaraan	m^2
c_d	koefisien gesek	$-$
c_r	*rolling resistant coefficient*	$-$
E_{bat}	energi baterai	J
E_{ICE}	energi yang dibutuhkan bus ICE	J
E_{pp}	energi yang dibangkitkan	J
E_{sumber}	energi sumber	J
F_a	gaya aerodinamis	N
F_g	*hill climb force*	N
F_r	*rolling resistance force*	N
F_{reg}	gaya *regenerative braking*	N
F_t	gaya traksi	N
$\sum F$	resultan gaya	N
g	percepatan gravitasi	m/s^2
h	selang waktu	s
i	data ke-	$-$
l	lebar	m
m	massa total	kg
m_v	massa kendaraan	kg
n	jumlah data	$-$
ρ_u	massa jenis udara	kg/s^3

UNIVERSITAS GADJAH MADA
ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN EMISI CO2 BUS LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA STUDI KASUS BUS TRANS JOGJA JALUR 3B
ANGATA RISMANA, Rachmawan Budiarto, S.T., M.T.; Dr. Ir. Andang Widiharto, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

p_t	tekanan ban kendaraan	bar
t	waktu	s
T	tinggi	m
v	kecepatan	m/s
W	usaha	J
W_{nett}	usaha netto	J
W_{reg}	usaha *regenerative braking*	J
W_t	usaha traksi	J
η_{bat}	efisiensi baterai	$-$
η_{char}	efisiensi pengisian baterai	$-$
η_D	efisiensi mesin diesel	$-$
η_{dist}	efisiensi distribusi	$-$
η_m	efisiensi motor	$-$
$\eta_{pembangkit}$	efisiensi pembangkit	$-$
η_{pp}	efisiensi saluran pembangkit	$-$
η_{trans}	efisiensi transmisi	$-$

Singkatan

AC	*Alternating Current*
ARTEMIS	*Assesment and Reliability of Transportation Emission Models and Inventory Systems*
BAU	*Business as Usual*
BBM	Bahan Bakar Minyak
BEB	*Battery Electric Bus*
BEV	*Battery Electric Vehicle*
BOE	*Barrel Oil Equivalent*
BPPT	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

UNIVERSITAS GADJAH MADA
ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN EMISI CO2 BUS LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA STUDI KASUS BUS TRANS JOGJA JALUR 3B
ANGATA RISMANA, Rachmawan Budiarto, S.T., M.T.; Dr. Ir. Andang Widiharto, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

CABS	*Campus Area Bus Service*
CNG	*Compressed Natural Gas*
DART	*Data Acquisition and Reporting Toolkit*
DC	*Direct Current*
DIY	Daerah Istimewa Yogyakarta
FCEB	*Fuel Cell Electric Bus*
FCEV	*Fuel Cell Electric Vehicle*
FIFO	*First In First Out*
FOH	*Front Overhang*
GRK	Gas Rumah Kaca
GVW	*Gross Vehicle Weight*
HAV	*Highest Attribute Value*
HEB	*Hybrid Electric Bus*
HEV	*Hybrid Electric Vehicle*
ICE	*Internal Combustion Engine*
IEO	*Indonesia Energy Outlook*
LAV	*Lowest Attribute Value*
PHEV	*Plug-in Hybrid Electric Vehicle*
PLT EBT	Pembangkit Listrik Tenaga Energi Baru dan Terbarukan
PLTA	Pembangkit Listrik Tenaga Air
PLTB	Pembangkit Listrik Tenaga Bayu
PLTD	Pembangkit Listrik Tenaga Diesel
PLTG	Pembangkit Listrik Tenaga Gas
PLTN	Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir
PLTS	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
PMSM	*Permanent Magnet Synchronous Motor*
RBS	*Regenerative Braking System*

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
ANALISIS KONSUMSI ENERGI DAN EMISI CO2 BUS LISTRIK DI KOTA YOGYAKARTA STUDI KASUS BUS TRANS JOGJA JALUR 3B
ANGATA RISMANA, Rachmawan Budiarto, S.T., M.T.; Dr. Ir. Andang Widiharto, M.T.
Universitas Gadjah Mada, 2016 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ROH	*Permanent Magnet*
SOC	*State of Charge*
SPBU	Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum
SPL	Stasiun Pengisian Listrik
SPV	*Solar Electric Vehicle*
SRM	*Switch Reluctance Motor*
WB	*Wheelbase*