

Analisis Energi dan Emisi CO₂ Rencana Bus Listrik di Yogyakarta Studi Kasus Trans Jogja

¹Angata Rismana*), ²Rachmawan Budiarto & ²Andang Widi Harto

¹Magister Teknik Sistem FT UGM

²Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika FT UGM

*rismana.angata@gmail.com**)

Abstrak

Sektor transportasi memiliki proporsi konsumsi energi terbesar kedua di Indonesia setelah sektor rumah tangga. Berdasarkan Indonesia Energy Outlook 2017, konsumsi energi sektor transportasi mencapai 31% dari total kebutuhan dan meningkat 5,2% per tahunnya dalam kurun waktu 2010-2015. Yogyakarta sebagai kota pelajar dan tujuan wisata mendorong perbaikan sistem transportasi umum untuk menekan jumlah penggunaan kendaraan pribadi. Kendaraan listrik merupakan salah satu cara mengatasi ketergantungan bahan bakar berbasis minyak bumi sekaligus dapat menjadi solusi transportasi umum ramah lingkungan dan rendah emisi. Analisis konsumsi energi pada bus listrik dilakukan dengan menggunakan bus Trans Jogja jalur 3B untuk mendapatkan parameter berkendara yang sesuai, dari hasil analisis tersebut dapat ditentukan bus yang memerlukan konsumsi energi dan emisi CO₂ paling sedikit. Melalui hasil penelitian diperoleh siklus berkendara Trans Jogja jalur 3B memiliki jarak 36.818 m, waktu tempuh 5.391 s, dan rerata kecepatan 24,5 km/jam. Berdasarkan pemodelan perhitungan energi tiap lampu lalu lintas, diperoleh konsumsi energi bus listrik sebesar 1,35 kWh/km sedangkan bus konvensional membutuhkan 2,74 kWh/km. Emisi yang dihasilkan dalam satu siklus berkendara bus listrik berdasarkan pemodelan pasokan energi tahun 2025 dan 2050 adalah sebesar 22,13 kgCO₂ dan 19,78 kgCO₂ sedangkan pada bus konvensional sebesar 26,94 kgCO₂.

Kata Kunci: bus konvensional; bus listrik; EBT; emisi; konsumsi energi; siklus berkendara

1 Pendahuluan

Transportasi merupakan kebutuhan utama yang digunakan masyarakat untuk beraktivitas dalam keseharian. Pergerakan masyarakat yang tinggi ini disertai dengan kurangnya fasilitas transportasi publik menunjang peningkatan volume kendaraan terutama kendaraan roda dua. Pertumbuhan kendaraan pribadi yang tidak diimbangi dengan pertumbuhan ruas-ruas jalan yang sepadan menyebabkan kepadatan di jalan raya, tak ayal konsumsi bahan bakar dan emisi CO₂ pun ikut meningkat dengan pola pertumbuhan transportasi tersebut.

Transportasi menjadi sektor terbesar kedua setelah sektor rumah tangga dalam konsumsi energi di Indonesia dan merupakan bentuk konsumsi terbesar pengguna jenis energi yang berasal dari minyak bumi dengan jumlah mencapai 323 juta *barrel oil equivalent* pada tahun 2013 [1], dan ketersediaannya semakin berkurang. Peningkatan kualitas transportasi umum merupakan salah satu langkah yang dapat dilakukan untuk mendukung perubahan moda transportasi dari penggunaan kendaraan pribadi menjadi angkutan massal, sehingga konsumsi energi berbasis minyak bumi dapat dikurangi.

Kota Yogyakarta memiliki kepadatan jumlah penduduk sebesar 12.699 jiwa/km² (2015) dan telah memiliki moda transportasi umum perkotaan sejak 2008 bernama Trans Jogja

yang melayani rute dalam kota dan terbagi atas 17 jalur utama. Tujuan dari pengadaan Trans Jogja ini salah satunya untuk mengurangi jumlah penggunaan kendaraan pribadi masyarakat. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor berimbang pada peningkatan konsumsi bahan bakar fosil, baik berupa bensin, maupun solar. Menurut IPCC (1996) setiap liter bensin premium mengemisikan 2,33 kg CO₂ dan solar 2,67 kg CO₂ yang totalnya mencapai 205.915 ton atau 22,19% dari total emisi CO₂ per tahun [2].

2 Metodologi Penelitian

2.1 Pengambilan data siklus berkendara

Pengambilan data pada bus Trans Jogja jalur 3B menggunakan alat ukur berupa GPS *handheld* Garmin eTrex 10. Sinyal pada GPS terlebih dahulu terhubung dengan satelit yang cukup agar pengambilan data dapat memberikan hasil yang akurat dan presisi. Interval waktu pengambilan data bervariasi sesuai dengan sampling dari GPS. Data yang paling akurat akan memiliki jeda setiap satu detik. Parameter kesesuaian data yang dicocokkan dengan hasil pengukuran ialah jarak tempuh. Pada pengukuran pra-penelitian digunakan sebanyak tiga buah GPS sekaligus (Garmin GPSMap 76CSx, Garmin eTrex10, dan Garmin Fenix 3) untuk menentukan GPS yang memberikan data paling konsisten dan presisi dalam pengukuran Trans Jogja jalur 3B. Data yang dipilih kemudian diolah dan disajikan dalam bentuk grafik siklus berkendara.

2.2 Gaya bekerja pada bus

Terdapat beberapa gaya yang bekerja pada bus ketika proses berkendara berlangsung, gaya-gaya ini akan mempengaruhi perhitungan konsumsi energi pada bus. Beberapa gaya tersebut antara lain *rolling resistance force*, gaya aerodinamis, *hill climb force*, gerak lurus beraturan serta gerak lurus berubah beraturan [3].

Rolling resistance force, merupakan gaya yang terjadi akibat adanya gesekan antara roda dengan permukaan jalan atau bidang kontak.

$$F_r(v, p_t, \dots) = c_r(v, p_t, \dots) \cdot m_v \cdot g \cdot \cos(a), \quad V > 0 \quad (1)$$

m_v merupakan massa kendaraan dan g sebagai percepatan gravitasi. Notasi $\cos(a)$ memodelkan pengaruh perbedaan ketinggian pada jalan. Nilai *rolling friction coefficient* (c_r) tergantung dari beberapa variabel diantaranya adalah kecepatan kendaraan (v) serta tipe dan tekanan ban (p_t).

$$c_r = 0,005 + \frac{1}{p_t} \left(0,01 + 0,0095 \left(\frac{v}{100} \right) \right) \quad (2)$$

Gaya aerodinamis (F_D), ditentukan oleh bentuk ataupun desain dari kendaraan dan dipengaruhi oleh beberapa komponen dalam perhitungannya yaitu densitas udara (ρ_u), koefisien aerodinamik (C_d) dan luas permukaan bidang (A). Dengan mendesain kendaraan yang memiliki aerodinamika yang baik maka koefisien aerodinamik dapat dipengaruhi, dimana koefisien aerodinamik standar sebuah bus kota adalah sebesar 0,55.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_u C_d A \quad (3)$$

Hill climb force, merupakan gaya yang dibutuhkan oleh bus ketika melalui jalan dengan kemiringan tertentu, baik ketika terjadi peningkatan atau penurunan elevasi.

$$F_g(a) = m_v \cdot g \cdot \sin(a) \tag{4}$$

Gerak lurus beraturan, merupakan gerak benda dengan kecepatan dan lintasan yang lurus sehingga percepatannya sama dengan nol.

$$s = v \cdot t \tag{5}$$

Gerak lurus berubah beraturan, merupakan gerak lurus dengan percepatan konstan dimana kecepatan yang berubah secara teratur selama gerak berlangsung.

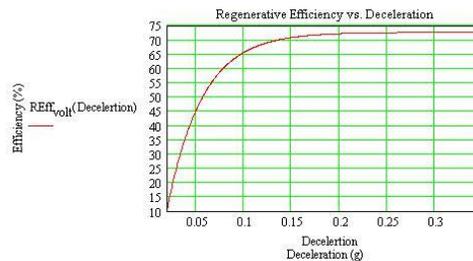
$$vt^2 = v_0^2 + 2as \tag{6}$$

2.3 Regenerative braking system

Sistem pengereman regeneratif merupakan sistem yang merubah energi kinetik dalam peristiwa pengereman dan mengkonversinya kembali menjadi energi yang dapat digunakan kembali [4]. Motor listrik yang berfungsi sebagai motor penggerak, ketika pengereman beralih fungsi menjadi generator dan menyimpan daya kembali ke baterai. Pada kendaraan konvensional (*internal combustion engine/ICE*) pengereman akan mengubah energi kinetik menjadi panas yang terbuang ke lingkungan. Metode *regenerative braking system* pada kendaraan listrik akan mengubah sebagian besar panas yang terbuang dengan tingkat konversi sekitar 70% [5].

$$F_{reg} = \begin{cases} 27,5\% (m_v \cdot a) & 0 < a \leq -0,05 \text{ m/s}^2 \\ 55\% (m_v \cdot a) & -0,05 \text{ m/s}^2 < a \leq -0,1 \text{ m/s}^2 \\ 67,5\% (m_v \cdot a) & -0,1 \text{ m/s}^2 < a \leq -0,15 \text{ m/s}^2 \\ 72,5\% (m_v \cdot a) & -0,15 \text{ m/s}^2 < a \end{cases} \tag{7}$$

Perhitungan *regenerative braking* didasarkan pada deselerasi atau mekanisme pengurangan kecepatan kendaraan yang disertai konversi sebagian besar energi kinetik menjadi energi yang dapat diisi kembali ke baterai.



Gambar 1. Grafik hubungan efisiensi *regenerative braking* terhadap deselerasi

2.4 Pemilihan bus listrik

Tipe kendaraan listrik yang umumnya di gunakan pada bus adalah HEV (*hybrid electric vehicle*), BEV (*battery electric vehicle*), dan FCEV (*fuel cell electric vehicle*) [6]. Bus listrik yang akan digunakan sebagai sarana transportasi disesuaikan dengan kriteria standar bus kota dari Dinas Perhubungan DIY dengan standar sebagai berikut.

Tabel 1. Spesifikasi kendaraan bermotor untuk bus perkotaan DIY

Kategori Komponen	Ketentuan Standar
-------------------	-------------------

Kategori Komponen	Ketentuan Standar
Kendaraan	Bus Sedang
Merk/Tipe	Rancang bangun disahkan DEPHUB RI
Kapasitas	20 penumpang atau lebih
Dimensi (p x l x t)	$\leq (9.000 \times 2.500 \times 1,5$ lebar) mm
Radius putar	≤ 12.000 mm
Jarak antar sumbu	-
Panjang julur depan	$\leq 47,5\%$ dari sumbu roda
Panjang julur belakang	$\leq 62,5\%$ dari sumbu roda

2.5 Perhitungan energi bus ICE

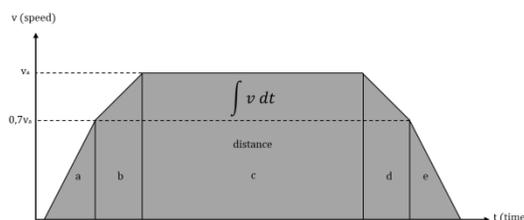
Hubungan gaya dan usaha dapat dirumuskan dalam:

$$W_t = \int F_t v. dt \quad (8)$$

$$\sum F = m \frac{d}{dt} v(t) = F_t(t) - (F_a(t) + F_r(t) + F_g(t)) \quad (9)$$

$$F_t(t) = F_a(t) + F_r(t) + F_g(t) + m. a \quad (10)$$

Perhitungan konsumsi energi pada bus ICE didasarkan pada perhitungan per segmen, dalam hal ini dilakukan perhitungan pada tiap lampu lalu lintas. Dalam satu siklus lampu lalu lintas ke lampu lalu lintas selanjutnya, terdapat variasi percepatan pada bus itu sendiri.



Gambar 2. Grafik akselerasi, konstan dan deselerasi kecepatan

Ketika bus mengalami percepatan pertamanya bus akan mulai bergerak (a), pada percepatan kedua bus akan menuju kecepatan stabil atau *cruising speed* dari bus tersebut (b). Kecepatan konstan dicapai saat bus berada pada posisi stabil, dengan kata lain percepatan sama dengan nol (c). Perlambatan terjadi ketika bus akan mencapai lampu merah selanjutnya, diawali dengan perlambatan yang menyebabkan bus berkurang kecepatannya (d), dan diikuti perlambatan yang menyebabkan bus hingga berhenti pada lampu lalu lintas (e).

$$E_{ICE} = \frac{W_{ICE}}{37,5\%} \quad (11)$$

Energi yang dihasilkan mesin tidak semuanya dapat dikonversikan menjadi energi mekanik karena terdapat faktor rugi-rugi pada transmisi energi dari mesin ke komponen penggerak. Faktor-faktor tersebut diasumsikan sebagai konstanta yang kemudian disebut efisiensi mesin diesel sebesar 37,5% dari nilai kerja bus (W). Dengan memperhitungkan *energy content* yang terkandung pada suatu bahan bakar, maka jumlah bahan bakar yang digunakan bus ICE dapat dihitung. Nilai *energy content* bahan bakar jenis solar adalah 35,79 MJ/liter maka besar konsumsi energi per siklus dapat disetarakan dalam liter solar.

2.6 Perhitungan energi bus listrik

Perhitungan pada pemodelan bus listrik didasarkan pada parameter-parameter yang berlaku pada bus listrik meliputi berat, luas permukaan penampang depan bagian bus, dan perhitungan khusus mengenai *regenerative braking* dari bus listrik.

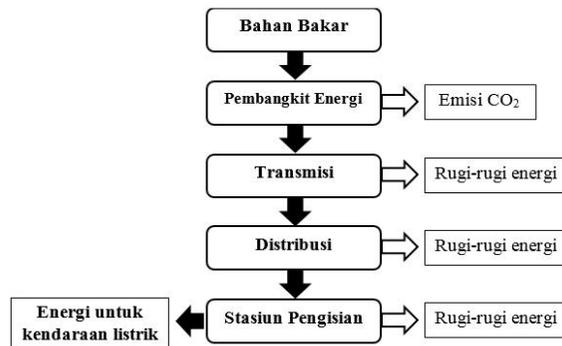
Tabel 2. Parameter perhitungan konsumsi energi bus listrik

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
m_v	11300 kg	η_m	95%
A_r	6,9 m/s ²	η_{bat}	87,5%
g	9,8 m/s ²	η_{char}	90%
c_d	0,6	η_{dist}	92,2%
ρ_a	1,142 kg/m ³	η_{trans}	97,7%

Berdasarkan efisiensi energi *regenerative braking* dari grafik pada Gambar 1 dapat dihitung energi yang dibangkitkan dari hasil pengereman. Total energi mekanik yang digunakan bus adalah:

$$W_{nett} = W_t - W_{reg} \quad (12)$$

Sedangkan nilai kerja akhir pada bus listrik adalah net antara gaya traksi dan gaya *regenerative* yang dihasilkan bus, sedemikian sehingga, W_{nett} sendiri merupakan nilai dari $W_t - W_{reg}$. Energi listrik yang dibutuhkan bus listrik dari pusat pembangkit mengalami susut energi yang disebabkan oleh beberapa hal seperti dalam proses pembangkitan, transmisi, distribusi, hingga ke pengisian ke bus listrik. Skema pemenuhan sumber energi dan pembangkitan listrik sampai proses pengisian baterai diilustrasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema pengisian dari pembangkit listrik hingga kendaraan listrik

2.7 Perhitungan emisi CO₂ bus

Karbon dioksida merupakan salah satu emisi yang dihasilkan dari pembangkitan listrik berbahan dasar fosil dan pembakaran bahan bakar minyak. Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 mengenai Pengendalian Pencemaran Udara, menjelaskan bahwa emisi merupakan zat atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan dimasukkan ke dalam udara lingkungan yang mempunyai dan atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar. Perhitungan emisi CO₂ sesuai metode IPCC yang didasarkan pada jumlah energi yang dikonsumsi dalam kWh.

$$Emisi = faktor\ emisi \times\ konsumsi\ energi\ (kWh) \quad (13)$$

Faktor emisi CO₂ merupakan nilai yang merepresentasikan jumlah suatu polutan yang dilepaskan ke atmosfer akibat dari kegiatan yang melibatkan sumber polutan. Faktor emisi biasanya dinyatakan dalam berat polutan per satuan berat, volume, jarak, ataupun lamanya aktivitas yang mengemisikan polutan tersebut [7]. Faktor emisi CO₂ beberapa sumber energi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Faktor emisi sumber energi

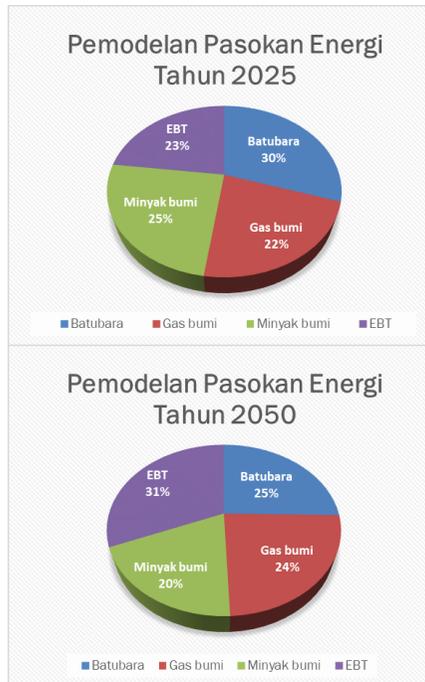
Sumber energi	Faktor emisi
Solar	74,1 kg CO ₂ /GJ
Batubara	0,318 kg CO ₂ /kWh
Gas bumi	0,181 kg CO ₂ /kWh
Minyak bumi	0,249 kg CO ₂ /kWh

Kendati kendaraan listrik tidak memberikan emisi CO₂ pada pengoperasiannya, namun dalam proses pembangkitan energi listrik yang digunakan kendaraan tersebut mengemisikan CO₂.

2.8 Skenario pasokan energi

Indonesia memiliki suatu skema dalam perencanaan pemenuhan kebutuhan energi yang diterbitkan pemerintah setiap tahun, dokumen ini disebut Rencana Umum Energi Nasional (RUEN). RUEN edisi terakhir tahun 2017 mengacu pada sasaran yang terdapat pada

kebijakan energi nasional (KEN). Dalam dokumen tersebut dimodelkan pasokan energi nasional di masa mendatang untuk tahun 2025 dan 2050 [8].



Gambar 4. Pemodelan pasokan energi primer tahun 2025 dan 2050

3 Diskusi

Bus Trans Jogja merupakan moda transportasi umum di Kota Yogyakarta yang berada di bawah naungan Dinas Perhubungan DIY dan dikelola oleh PT. Jogja Tugu Trans dan PT. Anindya Mitra internasional (AMI) sebagai operator layanan. Trans Jogja terbagi dalam 17 jalur dimana jalur 1-6 memiliki variasi A dan B, dan jalur 7-11.



Gambar 5. Rute Trans Jogja jalur 3B

Jalur 3B sendiri melalui ruas jalan yang merupakan kombinasi dari jalan yang lenggang-lancar hingga kawasan padat. Rata-rata total jarak tempuh dari Trans Jogja jalur 3B adalah

sepanjang 36.818 m, dengan perbedaan elevasi sebesar 127m dan ditempuh dalam waktu 1jam, 42menit dan 30 detik. Total bus yang beroperasi pada jalur ini sebanyak 9 unit dengan jeda waktu keberangkatan antar bus selama 14 menit (sesuai jadwal). Lokasi titik mulai dan berhenti bus Trans Jogja Jalur 3B berada pada halte yang terletak di Terminal Giwangan.

3.1 Spesifikasi bus

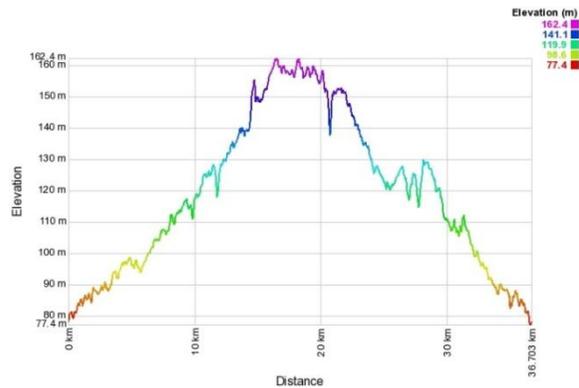
Bus dalam kota yang digunakan sebagai bus Trans Jogja jalur 3B adalah Hino FB 130, tipe bus sedang yang dijadikan acuan pemilihan bus listrik yang sesuai dengan spesifikasi bus ICE yang ditetapkan oleh Dinas Perhubungan DIY. Spesifikasi bus listrik yang mendekati standar dan bus ICE yang ada adalah bus Optare M820SR-EV.

Tabel 4. Spesifikasi bus ICE dan bus listrik

Kategori Komponen	Bus ICE	Bus Listrik
Jenis Kendaraan	Hino FB130	Optare M820SR-EV
Kapasitas Bus	24	29
Kapasitas Bahan Bakar	100 L	-
Kapasitas Baterai	-	Lithium iron magnesium phospat 80 kWh
Ukuran Ban	7,5-16-14PR	235/75R x 17,5
<i>Gross Vehicle Weight</i>	8.000 kg	11.300 kg
Dimensi Teknis		
a. Panjang	7.045 mm	8.210 mm
b. Lebar	2.100 mm	2.500 mm
c. Tinggi	3.300 mm	2.775 mm

3.2 Siklus berkendara bus

Pengukuran pada bus Trans Jogja menggunakan Garmin eTrex 10 bertujuan untuk mengetahui fungsi kecepatan terhadap waktu. Dengan waktu tunggu yang relatif singkat, bus Trans Jogja jalur 3B dalam sehari berkeliling sebanyak tujuh hingga delapan kali (*cycle*) dengan pembagian empat siklus di pagi hari dan empat siklus lainnya di siang hari sampai dengan malam hari. Data yang diperoleh antara lain yaitu akselerasi, deselerasi, kecepatan, jarak tempuh, waktu tempuh, dan elevasi.



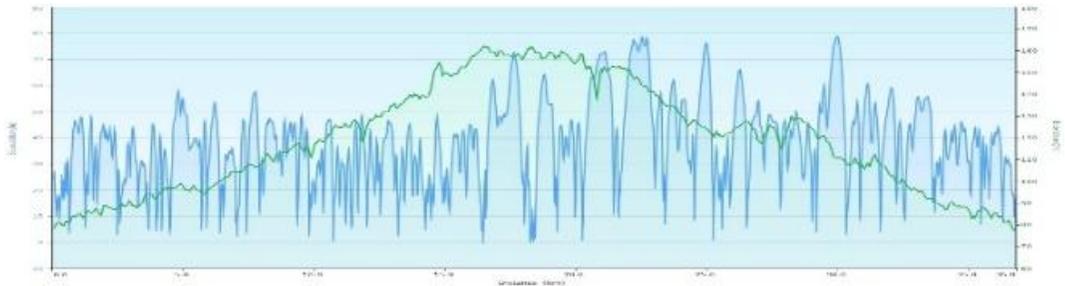
Gambar 6. Profil elevasi Trans Jogja jalur 3B

Hasil pengukuran dari siklus berkendara Trans Jogja jalur 3B berupa parameter kinematik yang digunakan dalam perhitungan konsumsi energi.

Tabel 5. Parameter kinematik siklus berkendara

Parameter	Total	Satuan
<i>Total distance</i>	36.818	m
<i>Total time</i>	5.391	s
<i>Driving time</i>	5.334	s
<i>Cruising time</i>	1.096	s
<i>Driving time spent accelerating</i>	2.577	s
<i>Driving time spent decelerating</i>	1.745	s
<i>% of time driving</i>	98,94	%
<i>% of time cruising</i>	19,82	%
<i>% of time accelerating</i>	47,80	%
<i>% of time decelerating</i>	32,36	%
<i>Average trip speed</i>	24,50	km/h
<i>Average driving speed</i>	24,84	km/h
<i>Maximum speed</i>	79	km/h

Selain parameter kinematik, keluaran yang dihasilkan dari pengukuran siklus berkendara merupakan grafik siklus berkendara. Pada Gambar 7 terlihat grafik kecepatan terhadap waktu dari pergerakan bus selama beroperasi dalam satu siklus penuh.



Gambar 7. Grafik siklus berkendara Trans Jogja jalur 3B

3.3 Hasil analisis konsumsi energi

Hasil perhitungan konsumsi energi dari bus ICE dan bus listrik dapat dilihat pada Tabel 6 dan 7 berikut ini.

Tabel 6. Hasil perhitungan konsumsi energi bus ICE Trans Jogja jalur 3B

W_t bus total	136.330.714,72 Joule
E_{ice}	363.548.572,57 Joule
Konsumsi Solar / siklus	10,15 liter
kWh	100,98 kWh
kWh/km	2,74 kWh/km

Tabel 7. Hasil perhitungan konsumsi energi simulasi bus listrik

W_t	182.929.763,54 Joule
W_{reg}	3.672.328,39 Joule
W_{nett}	179.257.435,14 Joule
kWh	49,79 kWh
kWh/km	1,35 kWh/km
E_{sumber}	112,11 kWh (efisiensi pasokan energi 2025)
	114,54 kWh (efisiensi pasokan energi 2050)

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa usaha yang dibutuhkan bus listrik untuk bergerak (W_{nett}) lebih besar dibandingkan bus ICE (W_t). Kedua bus memiliki dimensi dan ukuran yang relatif serupa, namun dengan bobot yang berbeda (sebagian besar disebabkan oleh baterai bus listrik) menyebabkan tingkat konsumsi energi yang lebih besar. Pada hasil akhir menunjukkan jumlah energi per kilometer yang dibutuhkan bus listrik lebih kecil dibandingkan bus ICE, karena konversi energi dari baterai lebih baik dibandingkan dengan solar untuk energi gerak bus. *Regenerative braking* pada bus listrik juga memberikan *captured energy* sehingga energi yang biasanya terbuang pada bus ICE dapat kembali ditangkap dan diubah menjadi tipe energi yang dapat digunakan kembali maupun dengan menyimpannya kembali ke baterai, hal ini membuat efisiensi energi bus listrik lebih baik.

3.4 Hasil analisis emisi CO₂

Perhitungan emisi CO₂ bus ICE dan bus listrik dilakukan dengan menggunakan formulasi perhitungan emisi CO₂ pada Persamaan 13 untuk bus listrik. Perhitungan didasarkan pada parameter nilai faktor emisi bahan bakar seperti bahan bakar solar dan sumber bahan bakar lainnya. Perhitungan emisi CO₂ ditunjukkan pada Tabel 8-10 berikut.

Tabel 8. Total emisi bus ICE

Jenis energi	Nilai faktor emisi	Emisi bus ICE	
		E_{input}	Emisi (kg CO ₂)
Solar	74,1 kg CO ₂ /GJ	363.548.572,57 x 10 ⁻⁹ Joule	26,94 kg CO ₂ /siklus

Tabel 9. Total emisi rencana bus listrik skenario pasokan energi tahun 2025

Jenis energi	Nilai faktor emisi (kg CO ₂ /kWh)	E_{sumber}	112,11 kWh	
		% Jenis energi	kWh	Emisi (kg CO ₂)
Batubara	0,318	30%	33,63	10,70
Gas bumi	0,181	22%	24,67	4,46
Minyak bumi	0,249	25%	28,03	6,98
EBT	0	23%	25,79	0
Total				22,13

Tabel 10. Total emisi rencana bus listrik skenario pasokan energi tahun 2050

Jenis energi	Nilai faktor emisi (kg CO ₂ /kWh)	E_{sumber} % Jenis energi	114,54 kWh	
			kWh	Emisi (kg CO ₂)
Batubara	0,318	25%	28,63	9.11
Gas bumi	0,181	24%	27,49	4.98
Minyak bumi	0,249	20%	22,91	5.70
EBT	0	31%	35,51	0
Total				19,78

Emisi CO₂ yang dihasilkan bus ICE dalam satu siklus berkendara pada Bus Trans Jogja jalur 3B menunjukkan hasil sebesar 26,94 kgCO₂ per siklus. Hasil ini lebih tinggi dibandingkan bus listrik dimana berdasarkan pemodelan pasokan energi tahun 2025 dan 2050, emisi pada pembangkitan energi sebesar 22,13 dan 19,78 kgCO₂ per siklus. Pada kenyataan di lapangan, bus listrik tidak mengeluarkan emisi sebesar total emisi yang terhitung pada jalur yang dilaluinya.

Saat berada di jalan raya bus listrik tidak mengemisikan CO₂ langsung ke lingkungan. Total emisi CO₂ pada bus listrik dihasilkan pada saat pembangkitan listrik di pembangkit energi (*power plant*) yang kemudian digunakan untuk mengisi baterai pada bus listrik. Dari hasil perhitungan didapatkan kesimpulan bahwa selain tidak mengemisikan CO₂ secara langsung di jalan raya, emisi CO₂ yang dibangkitkan dari pembangkitan tenaga penunjang bus listrik memiliki jumlah yang lebih rendah dibandingkan emisi CO₂ yang dihasilkan dari penggunaan bus ICE pada Trans Jogja jalur 3B.

4 Kesimpulan

Hasil perhitungan konsumsi energi dan emisi CO₂ terhadap bus Trans Jogja jalur 3B menunjukkan bahwa skenario penerapan bus listrik sangat dimungkinkan dan dapat diterapkan di Kota Yogyakarta dan memberikan dampak lingkungan yang lebih baik dibandingkan bus konvensional. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat meneliti rute Trans Jogja lainnya, serta studi lanjut mengenai potensi penghematan energi dari *regenerative braking* pada rute-rute Trans Jogja lainnya.

5 Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada seluruh pihak yang terlibat dan telah membantu dalam penelitian ini. Terutama untuk dosen pembimbing selama melaksanakan penelitian.

6 Nomenklatur

E_{bat}	= energi baterai
E_{ICE}	= energi yang dibutuhkan bus ICE
E_{pp}	= energi yang dibangkitkan
E_{sumber}	= energi sumber
F_D	= gaya aerodinamis
F_g	= <i>hill climb force</i>
F_r	= <i>rolling resistance force</i>
F_t	= gaya traksi
W_{ICE}	= usaha bus ICE
W_{nett}	= usaha netto
W_{reg}	= usaha <i>regenerative braking</i>
W_t	= usaha traksi
η_{bat}	= efisiensi baterai
η_{char}	= efisiensi pengisian baterai
η_{dist}	= efisiensi distribusi
η_m	= efisiensi motor
η_{trans}	= efisiensi transmisi

7 Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, *Handbook of energy & economic statistics of Indonesia 2014*, 2014.
- [2] Pemkot Yogyakarta, *Peraturan Daerah Tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah Kota Yogyakarta Tahun 2012 - 2016*, 2012.
- [3] L. Guzzella and A. Sciarretta, *Vehicle Propulsion Systems*, October, 2013.
- [4] G. Paganelli, G. Ercole, A. Brahma, Y. Guezennec, and G. Rizzoni, *General supervisory control policy for the energy optimization of charge-sustaining hybrid electric vehicles* JSAE Rev., vol. 22, no. 4, pp. 511–518, 2001.
- [5] L. A. S. B. Martins, J. M. O. Brito, A. M. D. Rocha, and J. J. G. Martins, *Regenerative Braking Potential and Energy Simulations for a Plug-In Hybrid Electric Vehicle Under Real Driving Conditions*, Vol. 6 Emerg. Technol. Altern. Energy Syst. Energy Syst. Anal. Thermodyn. Sustain., no. July 2015, pp. 525–532, 2009.
- [6] Z. Živanović and Z. Nikolić, *The Application of Electric Drive Technologies in City Buses*, "New Gener. Electr. Veh.", pp. 166–203, 2012.
- [7] Badan Pengkajian Kebijakan Iklim dan Mutu Industri, *Draft Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca*. .
- [8] Peraturan Presiden RI, *Rencana Umum Energi Nasional 2017*.