

ANALISIS PENGARUH VARIASI POSISI BATERAI DAN FORMASI PENUMPANG TERHADAP KESTABILAN DINAMIS KENDARAAN LISTRIK CEVI-C1

Timotius William Anggawirawan*, Susila Candra, Yuwono Budi Pratiknyo

Fakultas Teknik Universitas Surabaya, Raya Kalirungkut, Surabaya 60293

*Corresponding author: timotius.wa@gmail.com

Abstract—Vehicle dynamic stability is influenced by many factors, but the main influencing factor is distribution of mass within the vehicle. Previous battery position of CEVI-C1 was located in the front and rear compartments. After being reconditioned, the battery position is located in the rear compartment only. There is no prior research on the effect of changes in battery position and passenger formation on the dynamic stability of CEVI-C1. Therefore, a dynamic stability analysis of CEVI-C1 is needed. The dynamic stability of CEVI-C1 is assessed through the vehicle's directional behavior when cornering. This behavior can be determined through several analyzes, which is slip, skid, and roll analysis. The results of the analysis show that CEVI-C1 tends to understeer in all variations. The results of CEVI-C1 skid analysis show that the average maximum vehicle speed in all variations of battery position and passenger formation has a value of 52 km/h. In the roll analysis, the battery position in the middle and front compartments has a maximum speed value of 72 km/h, while the battery position in the rear compartment has a value of 55 km/h. This difference is due to different vertical position of the vehicle's center of mass (CG). From the results of slip, skid, and roll analysis, it can be concluded that the battery position in the front compartment of CEVI-C1 has a better dynamic stability value than other compartments.

Keywords: battery position, electric vehicle, passenger formation, roll, skid

Abstrak—Kestabilan dinamis sebuah kendaraan dipengaruhi oleh banyak hal, namun pengaruh utama kestabilan ini adalah distribusi massa dalam kendaraan. Posisi Baterai CEVI-C1 sebelumnya terletak pada kompartemen depan dan belakang. Setelah direkondisi, posisi baterai terletak pada kompartemen belakang saja. Belum ada penelitian yang meneliti tentang pengaruh perubahan posisi baterai dan formasi penumpang terhadap kestabilan dinamis CEVI-C1. Oleh karena itu diperlukan analisis kestabilan dinamis pada CEVI-C1. Analisis kestabilan dinamis CEVI-C1 dinilai melalui perilaku arah kendaraan ketika berbelok. Perilaku ini dapat diketahui melalui beberapa analisis, yaitu analisis *slip*, *skid*, dan *roll*. Hasil analisis menunjukkan bahwa CEVI-C1 cenderung berperilaku *understeer* pada semua variasi. Hasil analisis *skid* CEVI-C1 menunjukkan bahwa rata-rata kecepatan maksimum kendaraan dalam semua variasi posisi baterai dan formasi penumpang memiliki nilai 52km/jam. Pada analisis *roll*, posisi baterai pada kompartemen tengah dan depan memiliki nilai kecepatan maksimum 72 km/jam, sedangkan posisi baterai pada kompartemen belakang memiliki nilai 55km/jam. Perbedaan nilai ini diakibatkan posisi vertikal pusat massa kendaraan (CG) yang berbeda. Dari hasil analisis *slip*, *skid*, dan *roll*, dapat disimpulkan bahwa posisi baterai pada kompartemen depan CEVI-C1 memiliki nilai kestabilan dinamis yang lebih baik daripada kompartemen lainnya.

Kata Kunci: formasi penumpang, mobil listrik, posisi baterai, roll, skid

Pendahuluan

CEVI-C1 merupakan mobil listrik yang direkondisi oleh tim *Centre for Electric Vehicles Innovation* (CEVI) UBAYA, hasil kolaborasi dengan PT. Great Asia Link. Mobil ini merupakan *city car*, dan memiliki *body* yang mirip dengan mobil Chery EQ1. Posisi baterai pada CEVI-C1 sebelum direkondisi terletak pada kompartemen depan dan belakang. Setelah direkondisi, baterai diletakkan hanya pada kompartemen belakang. Kendaraan ini juga dapat memuat 4 penumpang, yaitu 2 penumpang di kursi belakang, 1 di kursi depan, dan 1 pengemudi. Dengan asumsi massa penumpang 4 orang mencapai 260 kg. Formasi penumpang saat kendaraan digunakan dapat bervariasi. Massa total baterai dan penumpang melebihi $\frac{1}{4}$ dari total massa kendaraan. Dengan adanya perubahan distribusi massa, posisi *center of gravity* (CG) kendaraan juga akan berubah.

Sebuah kendaraan memiliki 2 jenis kestabilan, yaitu kestabilan statis dan kestabilan dinamis (Febrian et al., 2021). Kestabilan statis adalah kondisi dimana kendaraan dalam keadaan diam, semua roda menyentuh tanah dan tidak terjadi *slip* (pergeseran). Menurut Sutantra (2001), kestabilan dinamis adalah kondisi dimana kendaraan dalam keadaan bergerak, baik berjalan maju atau mundur, berbelok kanan atau kiri, dan menanjak atau menurun.

Kestabilan dinamis dinilai melalui perilaku arah kendaraan ketika melakukan manuver belokan. Gerak kendaraan ketika berbelok menjadi tolak ukur dikarenakan saat kondisi belokan, kendaraan paling rawan mengalami ketidakstabilan dinamis (Peng et al., 2021). Kestabilan dinamis kendaraan dibutuhkan agar meminimalisir resiko kecelakaan dan meningkatkan kenyamanan. Perilaku arah untuk menilai kestabilan dinamis kendaraan dapat dibagi menjadi 3 kondisi, yaitu *slip*, *skid*, dan *roll*. Perilaku arah ini dipengaruhi oleh posisi CG pada kendaraan.

Slip adalah kondisi ketika terjadi pembentukan sudut *slip* pada ban ketika kendaraan melakukan belokan (Rahman et al., 2017). Sudut *slip* yang terbentuk dapat mengakibatkan perubahan radius belokan kendaraan. Ketika kendaraan berbelok, dapat terjadi 3 kondisi, yaitu *neutral steer*, *understeer*, dan *oversteer*. Kondisi *neutral steer* adalah kondisi dimana tidak terjadi sudut *slip* pada ban, sehingga radius belok akan sesuai dengan sudut *steer* kendaraan. Kondisi *understeer* dan *oversteer* adalah kondisi dimana terbentuk sudut *slip* pada ban, sehingga radius belok tidak sesuai dengan sudut *steer* kendaraan. Untuk mengetahui perilaku arah kendaraan melalui kondisi *slip*, maka perlu dilakukan analisis *slip* kendaraan. Analisis ini akan menunjukkan apakah kendaraan terjadi *understeer* atau *oversteer* melalui hasil perhitungan koefisien *understeer*. *Skid* adalah kondisi ketika gaya samping (lateral) kendaraan lebih besar daripada gaya gesek yang terjadi pada ban. Hal ini menyebabkan ban tergeser dari lintasan beloknya. Sedangkan *roll* adalah kondisi ketika salah satu atau beberapa ban kendaraan terangkat ketika kendaraan berbelok. Analisis perilaku arah kendaraan juga dinilai dari analisis *skid* dan *roll*. Hasil perhitungan pada analisis menghasilkan kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *skid* dan *roll*.

Karena CEVI-C1 masih dalam tahap pengembangan dan belum dilakukan analisis pengaruh variasi posisi baterai dan formasi penumpang terhadap kestabilan dinamisnya. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis pengaruh variasi posisi baterai dan formasi penumpang untuk mengetahui kestabilan dinamis kendaraan. Karena keterbatasan alat ukur, analisis dilakukan seolah-olah seperti ketika mobil listrik CEVI-C1 berbelok pada jenis jalan tertentu dengan kemiringan jalan yang berbeda-beda. Hasil analisis ini dapat digunakan sebagai rekomendasi posisi penempatan baterai dan formasi penumpang pada CEVI-C1 untuk menghasilkan kestabilan dinamis yang paling baik.

Metode Penelitian

Sebelum perhitungan analisis, pengumpulan data CEVI-C1 perlu dilakukan terlebih dahulu. Cara pengumpulan data yang dilakukan yaitu pengukuran langsung, dan wawancara. Dimensi kendaraan didapat melalui pengukuran langsung menggunakan roll meter dengan ketelitian paling kecil 1 mm. Beban reaksi tumpuan kendaraan diukur dengan timbangan gandar. Selain itu, *digital waterpass* digunakan untuk mengukur kemiringan kendaraan dan timbangan saat penimbangan. Wawancara dilakukan untuk mengetahui data penggerak (motor listrik), dan *battery pack* CEVI-C1. Dari kedua cara pengumpulan data didapatkan beberapa nilai parameter yang CEVI-C1, seperti yang dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1

Data CEVI-C1

Panjang Overall	2950 mm
Lebar Overall	1620 mm
Tinggi Overall	1600 mm
Front Track Width (t_f)	1550 mm
Rear Track Width (t_r)	1558 mm
Wheelbase (l)	2050 mm
Tipe Ban	Accelera Eco-Plush 165/60 R14
Diameter Ban	550 mm
Tebal Ban	260 mm
Massa Kosong	600 kg
Kecepatan Maksimal	70 km/jam
Voltase Battery Pack	60 V
Ampere Battery Pack	200 A

Battery pack eksisting pada CEVI-C1 tidak memungkinkan untuk dibongkar karena dapat merusak *pack*. Oleh karena itu, dipakai baterai lain dengan asumsi bahwa daya listrik yang dihasilkan sama dengan *battery pack* CEVI-C1. Baterai yang digunakan pada kompartemen tengah dan depan harus memiliki total massa yang sama dengan *battery pack* (120 kg) agar dapat diketahui perubahan posisi CG saat baterai diletakkan pada kompartemen berbeda.

Massa tiap penumpang diasumsikan memiliki nilai 65 kg. Nilai tersebut didapatkan dari data berat badan ideal pria dewasa dengan bentuk tubuh sedang pada usia produktif (15-64 tahun) di Indonesia menurut data Kemkes (Kementerian Kesehatan) Republik Indonesia. Pengukuran beban reaksi akibat variasi formasi penumpang tidak dilakukan secara langsung, karena susah untuk menemukan orang atau benda substitusi sesuai dengan berat yang ditentukan. Jumlah penumpang maksimal yang disarankan pada CEVI-C1 adalah 4 orang, yaitu 1 pengemudi, 1 penumpang pada kursi depan, dan 2 penumpang pada kursi belakang. Beberapa variasi formasi duduk penumpang yang dapat terjadi ketika kendaraan digunakan dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2

Variasi Formasi Duduk Penumpang

Jumlah Penumpang	Kode	Posisi Duduk
1	P1	Kursi pengemudi
2	P2A	Kursi pengemudi + kursi penumpang depan
2	P2B	Kursi pengemudi + kursi penumpang belakang kanan
2	P2C	Kursi pengemudi + kursi penumpang belakang kiri
3	P3A	Kursi pengemudi + kursi penumpang depan + kursi penumpang belakang kanan
3	P3B	Kursi pengemudi + kursi penumpang depan + kursi penumpang belakang kiri
3	P3C	Kursi pengemudi + kursi penumpang belakang kanan + kursi penumpang belakang kiri
4	P4	Kursi pengemudi + kursi penumpang depan + kursi penumpang belakang kanan + kursi penumpang belakang kiri

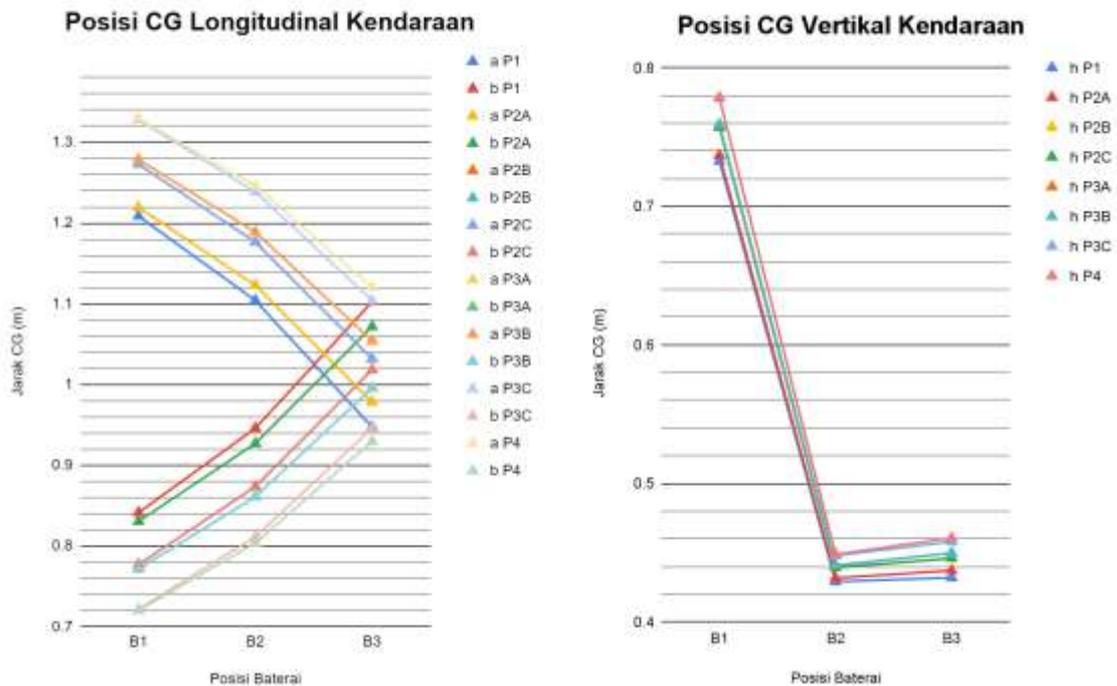
Hasil

Perhitungan dilakukan dengan batasan parameter seperti pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3

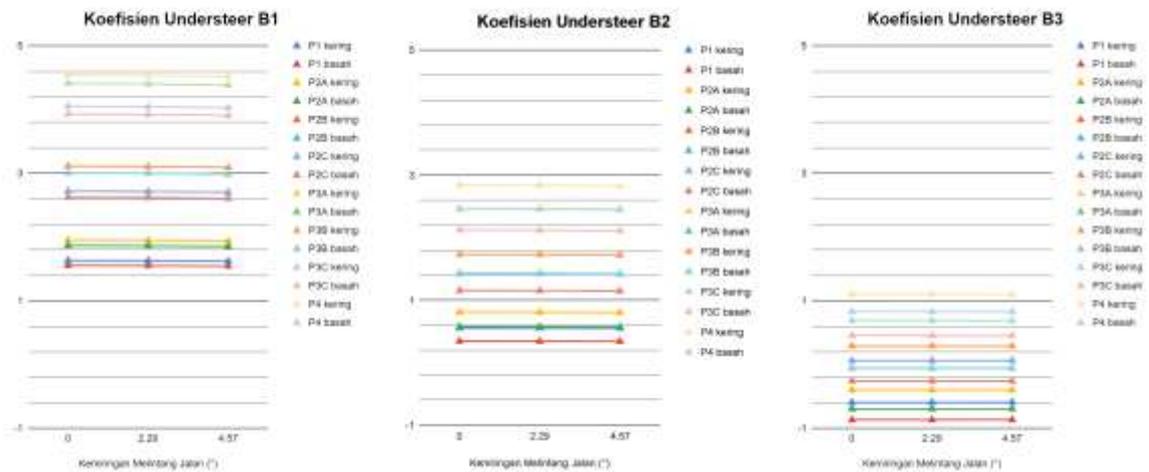
Parameter Perhitungan

Koefisien Drag (C_d)	0.350
Frontal Area (A_f)	2.00793 m ²
Sudut Steer	5° - 25°
Sudut Kemiringan Melintang Jalan	0° - 4.57°
koefisien adhesi (μ)	0.8 - 0.9
Koefisien rolling resistance (f_r)	0.014 - 0.017



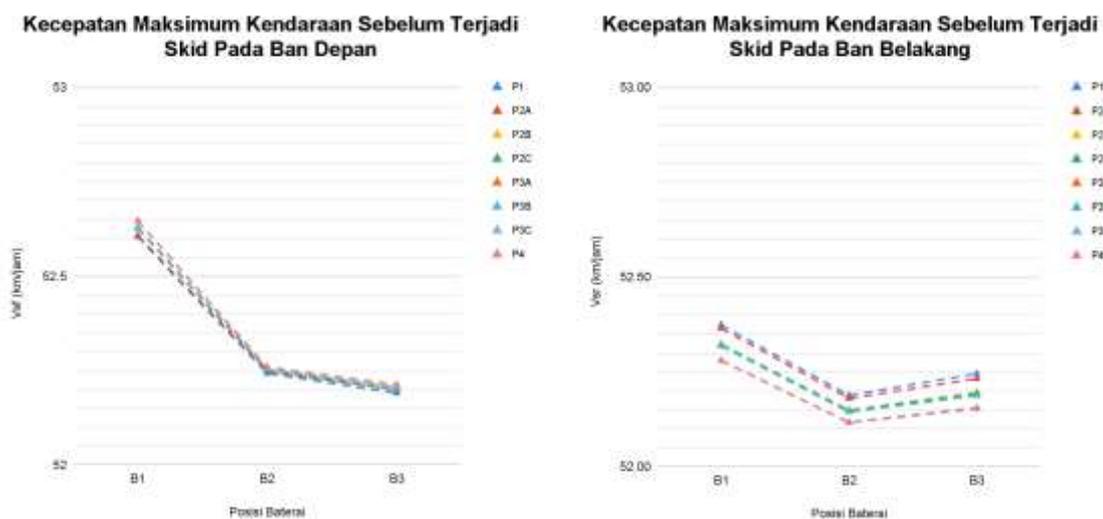
Gambar 1. Hasil Perhitungan Posisi CG Longitudinal (a), dan Posisi CG Vertikal (b) Kendaraan.

Pada Gambar 1a, posisi baterai B3 (kompartemen depan) menghasilkan area sebaran data yang paling mendekati nilai titik tengah *wheelbase* (1.025 m). Posisi baterai B2 (kompartemen tengah), dan B1 (kompartemen belakang) memiliki area sebaran nilai CG longitudinal kendaraan yang menjauhi nilai titik tengah *wheelbase*. Pada Gambar 1b, dapat dilihat bahwa posisi baterai B1 memiliki sebaran nilai posisi CG vertikal paling tinggi. Hal ini dapat terjadi dikarenakan posisi baterai memiliki ketinggian yang lebih tinggi. Pada posisi baterai B2 dan B3, sebaran nilai CG vertikal lebih rendah daripada B1. Namun nilai perhitungan paling minimum didapatkan pada posisi baterai B2. Hal ini dapat terjadi karena penempatan baterai pada posisi B2 memiliki posisi ketinggian vertikal paling rendah dibandingkan posisi baterai B1 dan B3.



Gambar 2. Hasil Perhitungan Koefisien *Understeer* Pada Posisi Baterai B1 (a), B2 (b), dan B3 (c).

Pada Gambar 2, Posisi baterai B3 memiliki keseluruhan nilai koefisien *understeer* yang lebih rendah apabila dibandingkan dengan posisi baterai B1 dan B2. Hal ini disebabkan oleh posisi CG longitudinal kendaraan pada posisi baterai B3 paling mendekati kondisi ideal. Saat kondisi jalan kering, nilai koefisien *understeer* terendah pada posisi baterai B1 adalah 1.63. Nilai koefisien *understeer* terendah pada posisi baterai B2 adalah 0.55. Sedangkan nilai koefisien *understeer* terendah pada posisi baterai B3 adalah -0.59. Pada posisi baterai B1 dan B2, kendaraan dapat disimpulkan mengalami peristiwa *understeer* dikarenakan nilai hasil perhitungan koefisien *understeer* adalah positif. Pada posisi baterai B3, kendaraan dapat mengalami peristiwa *oversteer* atau *understeer*. Apabila dinaiki 1 hingga 2 penumpang, atau *understeer* apabila dinaiki lebih dari 2 penumpang saat kondisi jalan kering. Secara keseluruhan, nilai koefisien *understeer* pada posisi baterai B3 memiliki nilai yang paling mendekati kondisi netral.

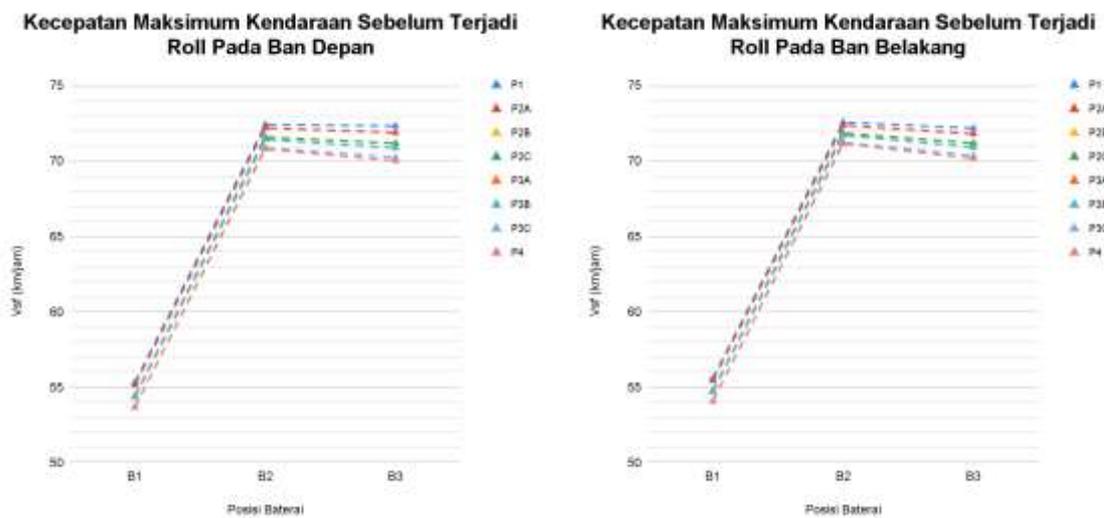


Gambar 3. Hasil Perhitungan Kecepatan Maksimum Kendaraan Sebelum Terjadi *Skid* Pada Ban Depan (a), dan Belakang (b).

Perbedaan nilai maksimum *skid* pada tiap posisi baterai disebabkan oleh perbedaan nilai beban reaksi tumpuan pada ban depan dan belakang. Apabila beban reaksi tumpuan pada ban depan lebih tinggi daripada ban belakang, maka nilai kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *skid* pada ban depan akan lebih tinggi daripada ban belakang. Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa pada posisi baterai B1, kecepatan maksimum ban depan lebih besar daripada ban belakang. Hal ini juga berlaku apabila beban reaksi tumpuan pada ban belakang

lebih besar, maka nilai kecepatan maksimum ban belakang lebih besar daripada ban depan. Pada B2, nilai kecepatan maksimum ban depan dan belakang hampir sama, hal ini disebabkan oleh nilai beban reaksi tumpuan pada ban depan dan belakang yang saling mendekati.

Posisi baterai B3 memiliki nilai kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *skid* pada ban depan yang lebih kecil daripada ban belakang, sehingga terjadi *understeer*. Pada posisi baterai B1 dan B2, nilai kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *skid* pada ban depan lebih besar daripada ban belakang. Sehingga pada posisi baterai tersebut terjadi peristiwa *oversteer*. Dari hasil perhitungan tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *skid* pada ban depan dan belakang dipengaruhi oleh posisi baterai. Sedangkan untuk variasi formasi penumpang tampak tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan nilai kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *skid* pada ban depan dan belakang.



Gambar 3. Hasil Perhitungan Kecepatan Maksimum Kendaraan Sebelum Terjadi Roll Pada Ban Depan (a), dan Belakang (b).

Dapat dilihat pada Gambar 3, posisi baterai B1 memiliki nilai rata-rata nilai kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *roll* untuk kemiringan melintang jalan 0° dan kondisi permukaan jalan kering pada ban depan dan belakang adalah 54-55 km/jam. Posisi baterai B2 dan B3 memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi, yaitu 71-72 km/jam. Nilai yang berbeda jauh ini dapat terjadi dikarenakan oleh posisi CG vertikal posisi baterai B1 yang lebih tinggi dibandingkan dengan posisi baterai B2 dan B3. Posisi CG vertikal yang tinggi mengakibatkan momen akibat gaya sentrifugal kendaraan menjadi lebih tinggi, sehingga kendaraan cenderung lebih mudah terguling. Posisi baterai B1, B2 dan B3 memiliki nilai kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *roll* pada ban depan dan ban belakang yang hampir sama. Sedangkan untuk variasi formasi penumpang tampak tidak memberikan pengaruh terhadap perubahan nilai kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *roll* pada ban depan dan belakang.

Kesimpulan

Melalui analisis ini dapat disimpulkan bahwa kendaraan listrik CEVI-C1 cenderung mengalami peristiwa *understeer* pada sebagian besar hasil perhitungan analisis. Kondisi ini lebih baik dialami daripada kondisi *oversteer*. Kestabilan dinamis mobil listrik CEVI-C1 dipengaruhi oleh perubahan posisi titik CG kendaraan. Posisi CG kendaraan dipengaruhi oleh distribusi pembebanan, yaitu variasi posisi baterai dan formasi penumpang. Kestabilan dinamis lalu dianalisis melalui analisis *slip*, *skid* dan *roll* kendaraan. Dari analisis tersebut, dapat diketahui nilai koefisien *understeer*, dan nilai kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *skid* dan *roll*.

Posisi baterai B1 dan B2 memiliki nilai analisis *slip* yang cenderung berperilaku *understeer*. Lain halnya dengan posisi baterai B3 yang dapat memiliki perilaku *understeer*, netral,

atau *oversteer*. Posisi baterai B1, B2, dan B3 memiliki nilai analisis *skid* yang tidak jauh berbeda, yaitu pada nilai rata-rata 52 km/jam (pada sudut steer 5°, kondisi permukaan jalan kering, dan kemiringan melintang jalan 0°). Namun melalui analisis *roll* dengan kondisi yang sama, posisi baterai B1 memiliki nilai rata-rata yang paling rendah, yaitu 55 km/jam. Sedangkan posisi baterai B2 dan B3 memiliki nilai rata-rata kecepatan maksimum kendaraan sebelum terjadi *roll* sebesar 72 km/jam. Sehingga dapat disimpulkan melalui analisis *slip*, *skid*, dan *roll* kendaraan, posisi baterai B3 (kompartemen depan) memiliki tingkat kestabilan dinamis kendaraan yang paling tinggi.

Pada analisis *slip*, *skid*, dan *roll*, diketahui persebaran nilai hasil perhitungan tidak jauh berbeda pada tiap formasi penumpang. Dibandingkan dengan variasi posisi baterai, variasi formasi penumpang tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan nilai hasil perhitungan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa variasi formasi penumpang tidak memberikan pengaruh pada kestabilan dinamis kendaraan.

Pustaka Acuan

- Abe, M. (2015). Fundamentals of Vehicle Dynamics. *Vehicle Handling Dynamics*, 45–107.
- Febrian, M., Syafri, Anuar, K.. (2021). "ANALISIS KESTABILAN MOBIL HEMAT ENERGI ADYATMA URBAN PADA SAAT BERBELOK".
- Junginger, M., dan Louwen, A. (2020). *Technological Learning in the Transition to a Low-Carbon Energy System*.
- Karmiadi, D. W., Gozali, M., Setiyo, M., Raja, T., & Purnomo, T. A. (2021). *Comprehensive analysis of minibuses gravity center: A post-production review for Car body industry. Mechanical Engineering for Society and Industry*, vol 1(1), 31–40.
- Mazumder, H., et al. (2012). *Performance analysis of EV for different mass distributions to ensure safe handling. Energy Procedia*, vol. 14, 949-954.
- Peng, J., et al. (2021). *Analysis of vehicle skidding potential on horizontal curves. Accident Analysis and Prevention*.
- Rahman, F., Syaifudin, A., & Sutantra, I. N. (2017). *Analisis Stabilitas arah mobil Toyota Agya G Dengan Variasi Jumlah Penumpang, Kecepatan Belok, Sudut Belok Dan Kemiringan melintang jalan. Jurnal Teknik ITS*, vol. 6(1).
- Sutantra, I.N. (2001). *Teknologi Otomotif: Teori dan Aplikasinya*.
- Tian, J. dan Whitfield, C. (2021). *Effect of mass and center of gravity on vehicle speed and braking performance. Journal of Emerging Investigators*, Vol 4.
- Tsirogiannis, E. (2015). *Design of an efficient and lightweight chassis, suitable for an Electric car. Technical University of Crete*.