

Analisis Pengaruh Posisi *Center of Gravity* terhadap Stabilitas Arah Bus *Double Deck*

Maslakhatuz Zahro dan I Nyoman Sutantra

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) 60111 Indonesia
e-mail: tantra@me.its.ac.id

Abstrak—Peningkatan jumlah penduduk di Indonesia akan berdampak pada kebutuhan alat transportasi, terutama alat transportasi umum yaitu bus. Keselamatan dan keamanan sarana transportasi umum sudah menjadi perhatian masyarakat pengguna bus. Salah satu kejadian yang berhubungan dengan keselamatan dan keamanan penumpang adalah kecelakaan. Tingginya angka kecelakaan sebagian besar diakibatkan oleh kelalaian pengemudi dan kurangnya stabilitas kendaraan saat di jalanan. Oleh karena itu, dilakukan analisa stabilitas arah kendaraan bus *double deck*. Ada beberapa variasi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain kecepatan, sudut belok, sudut kemiringan melintang jalan, jenis permukaan jalan, dan posisi *center of gravity*. Penelitian ini untuk mengetahui perilaku arah bus *double deck* yang dibagi menjadi tiga yaitu *understeer*, *oversteer*, dan netral. Ketiga perilaku arah belok kendaraan dapat diketahui dengan melakukan analisa *slip*, *skid*, dan guling. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah bus *double deck* mengalami kondisi paling stabil saat kondisi 4 (ekstrim depan) dimana hanya ada penumpang di bagian depan pada kedua *deck*. Kendaraan ini mengalami kondisi paling stabil ketika melewati jalan miring daripada jalan datar karena sudut *slip* nya semakin kecil dengan bertambahnya sudut kemiringan melintang jalan. Kendaraan mengalami *skid* lebih cepat pada jalan basah daripada jalan kering.

Kata Kunci—Guling, *Overtseer*, *Slip*, *Skid*, Stabilitas, *Understeer*.

I. PENDAHULUAN

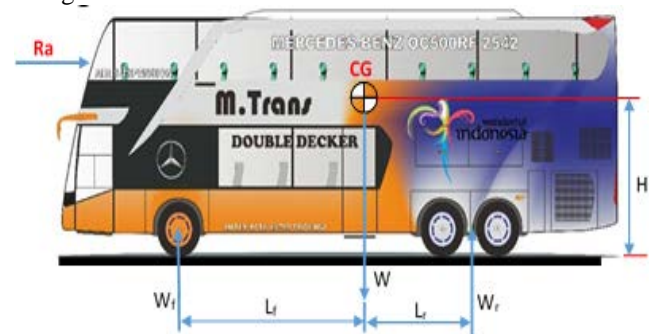
INDONESIA merupakan salah satu negara berkembang yang setiap tahunnya mengalami peningkatan jumlah penduduk. Dilihat dari data Badan Pusat Statistik, jumlah penduduk Indonesia pada tahun 2017 mencapai angka 261 juta jiwa, dan diperkirakan akan meningkat menjadi 305 juta jiwa pada tahun 2035.[1] Seiring meningkatnya populasi manusia, kebutuhan alat transportasi juga semakin meningkat. Alat transportasi yang banyak diminati oleh masyarakat untuk jarak jauh adalah bus. Bus merupakan alat transportasi massal yang dapat menampung banyak penumpang maupun barang dan hingga saat ini jumlah bus di Indonesia mencapai 2,4 juta kendaraan.[2]

Masalah keselamatan dan keamanan sarana transportasi umum sudah menjadi perhatian masyarakat pengguna bus. Untuk saat ini, ada banyak berita yang berhubungan dengan keselamatan penumpang yaitu kecelakaan. Berdasarkan data kecelakaan bus yang terjadi di Indonesia dari tahun 2010-2016, tercatat bahwa dari 41 kasus kecelakaan bus 11 kasusnya merupakan jenis kecelakaan terguling. [3] Dari analisa yang dilakukan Komisi Nasional Keselamatan dan Transportasi (KNKT) menyebutkan bahwa kendaraan di Indonesia kurang memenuhi standar kestabilan, yang berarti pada kecepatan tinggi kendaraan cenderung tidak stabil.

Oleh karena itu, diperlukan analisa kestabilan kendaraan bus terutama bus jenis *double deck*. Analisa kestabilannya berdasarkan variasi kecepatan, sudut belok, kemiringan melintang jalan, jenis permukaan jalan, dan posisi *center of gravity*. Analisa yang dilakukan adalah analisa *skid*, analisa *slip*, dan analisa guling. Dari analisa ini diharapkan pengemudi dapat mengatur kecepatan saat belok dengan kondisi tersebut. Sehingga memberikan informasi ke pengemudi agar dapat mengetahui perilaku arah kendaraan dan juga batasan kecepatan agar kendaraan tetap stabil. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui perilaku arah kendaraan bus *double deck*, mengetahui besar sudut *slip* roda depan dan belakang, mengetahui batas kecepatan maksimum, dan mengetahui nilai koefisien *understeer* indeks (K_{US}).

II. URAIAN PENELITIAN

Analisa pada penelitian ini menggunakan 3 tahap yaitu analisa *slip*, *skid*, dan guling. Selanjutnya menghitung nilai koefisien *understeer* (K_{US}). Sebelum menganalisa dilakukan pencarian posisi *center of gravity* terlebih dahulu. Untuk kendaraan biasanya dalam mencari titik CG dilakukan dengan meninmbang roda depan dan belakang. Namun pada bus *double deck* dilakukan penimbangan oleh karena itu dilakukan permodelan dengan menggunakan *software solidworks*. Untuk mencari titik CG didapatkan rumus sebagai berikut:



Gambar 1. Free Body Diagram Bus Double Deck [4]

Untuk mengukur jarak sumbu roda depan dengan pusat titik berat dapat ditentukan dengan menggunakan prinsip mekanika teknik. Sumbu roda sebagai pusat momen, maka akan didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$L_f = \frac{W_r \cdot L}{W} \quad (1)$$

$$L_r = \frac{W_f \cdot L}{W} \quad (2)$$

dimana :

W_f = beban reaksi pada roda depan

W_r = beban reaksi pada roda belakang

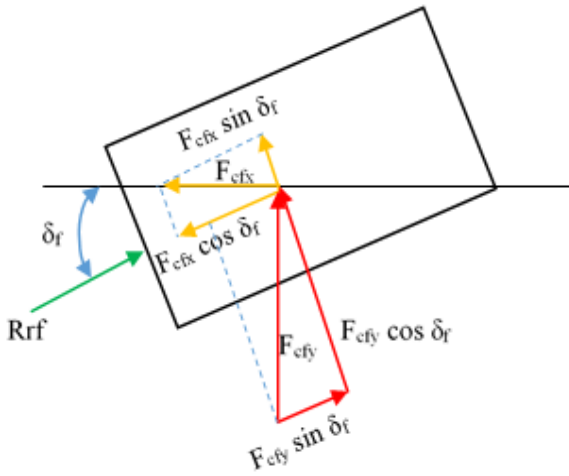
W = berat kendaraan

L_f = jarak dari *center of gravity* ke pusat poros depan

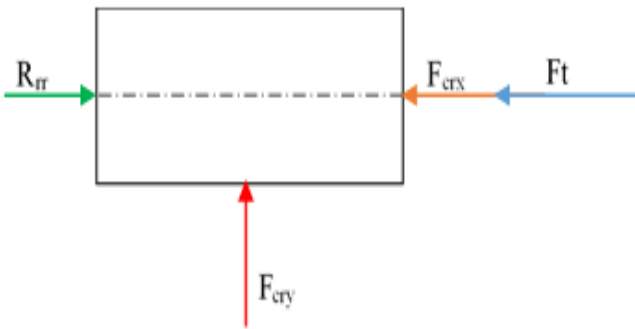
L_r = jarak dari *center of gravity* ke pusat poros belakang
 L = jarak antara poros roda depan dan belakang kendaraan

A. Gaya yang Bekerja pada Kendaraan Belok

Gaya-gaya yang terjadi pada ban kendaraan dapat diketahui berdasarkan FBD pada gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Gaya-Gaya yang Terjadi pada Roda Depan [5]



Gambar 3. Gaya-Gaya yang Terjadi pada Roda Belakang [5]

Dimana :

- m = Massa kendaraan (Kg)
- V = Kecepatan kendaraan belok (m/s)
- R = Radius belok (m)
- F_c = Gaya sentrifugal yang terjadi pada kendaraan (N)
- F_{cfx} = Gaya sentrifugal 105ea rah longitudinal yang terjadi pada roda depan (N)
- F_{crx} = Gaya sentrifugal ke arah longitudinal yang terjadi pada roda belakang (N)
- F_{cfy} = Gaya sentrifugal ke arah lateral yang terjadi pada roda depan (N)
- F_{cry} = Gaya sentrifugal ke arah lateral yang terjadi pada roda belakang (N)
- R_r = Gaya hambat *rolling* yang terjadi pada ban kendaraan (N)

Gaya Longitudinal (Fx) :

$$F_{x1} = \frac{1}{2} [F_t + F_{crx} - R_{rr}] \quad (3)$$

$$F_{x2} = \frac{1}{2} [F_{cfy} \cdot \sin \delta_f - F_{cfx} \cos \delta_f + R_{rf}] \quad (4)$$

$$F_{x3} = \frac{1}{2} [F_{cfy} \cdot \sin \delta_f - F_{cfx} \cos \delta_f + R_{rf}] \quad (5)$$

$$F_{x4} = \frac{1}{2} [F_t + F_{crx} - R_{rr}] \quad (6)$$

Gaya Lateral (Fy):

$$F_{y1} = \frac{L_f}{6L} F_c \cos \beta \quad (7)$$

$$F_{y2} = \frac{1}{2} [F_{cfy} \cdot \cos \delta_f + F_{cfx} \cdot \sin \delta_f] \quad (8)$$

$$F_{y3} = \frac{1}{2} [F_{cfy} \cdot \cos \delta_f + F_{cfx} \cdot \sin \delta_f] \quad (9)$$

$$F_{y4} = \frac{L_f}{6L} F_c \cos \beta \quad (10)$$

Gaya vertikal (Fz):

$$F_{z1} = \frac{L_f}{2L} (W \cos \theta + F_c \cos \beta \sin \theta) - \frac{L_f}{L} \left(\frac{h_{gr} \cdot F_c \cos \beta \cdot \cos \theta - h_{gr} \cdot W \sin \theta + M_{gf}}{t_r} \right) - \frac{h_{gr} \cdot F_c \cdot \sin \beta - R_a \cdot h_{gr} + M_p}{2L} \quad (11)$$

$$F_{z2} = \frac{L_r}{2L} (W \cos \theta + F_c \cos \beta \sin \theta) + \frac{L_r}{L} \left(\frac{h_{gf} \cdot F_c \cos \beta \cdot \cos \theta - h_{gf} \cdot W \sin \theta + M_{gf}}{t_f} \right) + \frac{h_{gf} \cdot F_c \sin \beta - R_a \cdot h_{gf} + M_p}{2L} \quad (12)$$

$$F_{z3} = \frac{L_r}{2L} (W \cos \theta + F_c \cos \beta \sin \theta) + \frac{L_r}{L} \left(\frac{h_{gf} \cdot F_c \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta - h_{gf} \cdot W \sin \theta + M_{gf}}{t_f} \right) + \frac{h_{gf} \cdot F_c \sin \beta - R_a \cdot h_{gf} + M_p}{2L} \quad (13)$$

$$F_{z4} = \frac{L_f}{2L} (W \cos \theta + F_c \cos \beta \sin \theta) + \frac{L_f}{L} \left(\frac{h_{gr} \cdot F_c \cos \beta \cdot \cos \theta - h_{gr} \cdot W \sin \theta + M_{gr}}{t_r} \right) - \frac{h_{gr} \cdot F_c \sin \beta - R_a \cdot h_{gr} + M_p}{2L} \quad (14)$$

Besar M_g (Momen guling) dan Momen *Pitching* (M_p) dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$M_{gf} = K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} \cdot \gamma_f \quad (15)$$

$$\gamma_f = \frac{\frac{L_r}{L} \cdot F_{cy} \cdot r_c}{K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - \frac{L_r}{L} \cdot W \cdot r_c} \quad (16)$$

$$M_{gr} = K_{eqr} \cdot \frac{b_r^2}{2} \cdot \gamma_r \quad (17)$$

$$\gamma_r = \frac{\frac{L_f}{L} \cdot F_{cy} \cdot r_c}{K_{eqr} \cdot \frac{b_r^2}{2} - \frac{L_f}{L} \cdot W \cdot r_c} \quad (18)$$

$$M_p = (F_{cx} - R_a) \cdot r_c + W \cdot \gamma_p \cdot r_c \quad (19)$$

$$\gamma_p = \frac{(F_{cx} - R_a) \cdot r_c}{2 \cdot K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2 \cdot K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \quad (20)$$

γ° dan γ_p adalah sudut guling dan sudut *pitching* kendaraan ketika berbelok.

K_{eqf} dan K_{eqr} merupakan kekakuan ekivalen pegas, suspensi, ban, stabilizer depan dan belakang kendaraan. K_{sf} dan K_{sr} merupakan kekakuan pegas suspensi. K_{teqf} dan K_{teqr} merupakan kekakuan ban depan dan belakang. [6]

$$K_{eqf} = \frac{(K_{sf} + R_{sf}) \cdot K_{teqf}}{(K_{sf} + R_{sf}) + K_{teqf}} \quad (21)$$

$$K_{eqr} = \frac{(K_{sr} + R_{sr}) \cdot K_{teqr}}{(K_{sr} + R_{sr}) + K_{teqr}} \quad (22)$$

B. Analisa Slip

Ada beberapa penyebab ban mengalami *slip*, salah satunya adanya gaya samping yang menyebabkan deformasi lateral pada bidang kontak ban. Akibat dari gaya samping tersebut maka arah putaran ban akan bergeser sebesar α , hal ini dinamakan sebagai sudut *slip*. Analisa *slip* digunakan untuk mengetahui besarnya sudut *slip* yang terjadi pada ban depan dan belakang kendaraan.

$$\alpha_{rb} = 0,3 \cdot \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935(F_y \alpha)^{0,79008} - 0,005277(F_z)] \quad (23)$$

dimana:

- α_{rb} = Sudut slip yang terjadi pada setiap roda/ban ($^\circ$)
- F_{ya} = Gaya belok (lateral) yang terjadi pada setiap roda (lb)
- F_z = Gaya normal yang terjadi pada setiap roda/ban (lb)

$$C_{rp} = 33,5 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2 \quad (24)$$

$$C_{rs} = 33,5 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2 \quad (25)$$

- P = tekanan ban (Psi)
- P_s = tekanan standar 25 psi

$$C_{rx} = \left[\frac{F_y \alpha + 0,107927(F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \quad (26)$$

$$C_{ro} = \left[\frac{F_y \alpha}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \quad (27)$$

Jika :

- a. $\alpha_f > \alpha_r$, maka kendaraan akan mengalami *understeer*
- b. $\alpha_f < \alpha_r$, maka kendaraan akan mengalami *oversteer*
- c. $\alpha_f = \alpha_r$, maka kendaraan akan mengalami netral

C. Analisa Skid

Pada saat kendaraan berbelok akibat gaya kesamping pada roda depan dan roda belakang maka akan terjadi *skid* pada roda depan atau roda belakang ataupun kedua-duanya. Jika terjadi *skid* pada saat berbelok maka akan mengakibatkan kendaraan menjadi sulit untuk dikendalikan dan sering menjadi penyebab dari suatu kecelakaan lalu lintas.

Skid depan akan terjadi jika :

$$F_{cfy} = F_{zfy} \cdot \mu \quad (28)$$

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{R \cdot g \left[(\mu \cdot L_r \cdot W \cos \theta) - (\mu \cdot R_a \cdot h_{gr}) + (\mu \cdot M_p) + (L_r \cdot W \sin \theta) \right]}{(L_r \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta) - (\mu \cdot L_r \cdot \cos \beta \cdot \sin \theta) - (h_{gr} \cdot \mu \sin \beta)}} \quad (29)$$

Skid belakang akan terjadi jika :

$$F_{cry} = F_{zr} \cdot \mu(30)$$

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{R \cdot g \left[(\mu \cdot L_f \cdot W \cos \theta) + (\mu \cdot R_a \cdot h_{gr}) - (\mu \cdot M_p) + (L_f \cdot W \sin \theta) \right]}{(L_f \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta) - (\mu \cdot L_f \cdot \cos \beta \cdot \sin \theta) + (h_{gr} \cdot \mu \sin \beta)}} \quad (31)$$

Jika :

- $V_{sf} > V_{sr}$, *skid* roda belakang akan terjadi sebelum *skid* roda depan dan kendaraan cenderung *oversteer*.
- $V_{sf} < V_{sr}$, *skid* roda depan akan terjadi sebelum *skid* roda belakang dan kendaraan cenderung *understeer*.

D. Analisa Guling

Analisa guling bertujuan untuk mencari kondisi terjadinya salah satu roda depan atau belakang atau satu roda belakang dan depan terangkat. Terangkatnya salah satu atau kedua roda

tersebut menunjukkan adanya kemungkinan kendaraan akan terguling.

Kondisi kritis roda depan akan mulai terjadi apabila: $F_{z2} = 0$

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{R \cdot g \left[(L_r \cdot W \cos \theta \cdot t_f) + (2 \cdot L_r \cdot h_{gr} \cdot W \sin \theta) - (2 \cdot L_r \cdot M_{gf}) - (R_a \cdot h_{gr} \cdot t_f) + (M_p \cdot t_f) \right]}{(2 \cdot L_r \cdot h_{gr} \cos \beta \cos \theta) - (L_r \cdot \cos \beta \sin \theta \cdot t_f) - (h_{gr} \sin \beta \cdot t_f)}} \quad (32)$$

Kondisi kritis roda belakang akan mulai terjadi apabila: $F_{z1} = 0$

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{R \cdot g \left[(L_f \cdot W \cos \theta \cdot t_r) + (2 \cdot L_f \cdot h_{gr} \cdot W \sin \theta) - (2 \cdot L_f \cdot M_{gr}) + (R_a \cdot h_{gr} \cdot t_r) - (M_p \cdot t_r) \right]}{(2 \cdot L_f \cdot h_{gr} \cos \beta \cos \theta \cdot t_r) + (L_f \cdot \cos \beta \sin \theta \cdot t_r) + (h_{gr} \sin \beta \cdot t_r)}} \quad (33)$$

Dimana :

t_r = Lebar *track* belakang (m)

Jika :

$V_{gf} > V_{gr}$, satu roda belakang terangkat sebelum satu roda depan terangkat dan kendaraan cenderung *oversteer*.

$V_{gf} < V_{gr}$, satu roda depan terangkat sebelum satu roda belakang terangkat dan kendaraan cenderung *understeer*.

E. Analisa Understeer (K_{us})

Understeer indeks (K_{us}) yaitu besaran yang dapat mengidentifikasi perilaku arah dari kendaraan belok. Persamaan *understeer* indeks (K_{us}) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$K_{us} = (\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ) \cdot \frac{R \cdot g}{V^2} \quad (34)$$

Dimana :

- R = Radius belok nyata dari kendaraan
- α_f° = Besar sudut slip depan
- α_r° = Besar sudut slip belakang
- K_{us} = Indeks *Understeer*
- V = Kecepatan kendaraan belok

Dari persamaan-persamaan diatas didapatkan nilai K_{us} sebagai berikut, ketika:

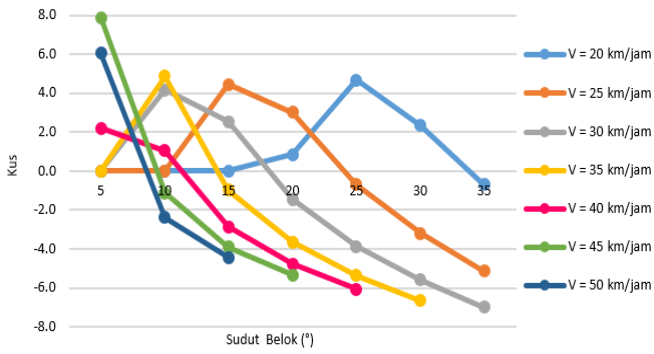
- a. $K_{us} = 0$, maka kendaraan netral
- b. $K_{us} = +$, maka kendaraan *understeer*
- c. $K_{us} = -$, maka kendaraan *oversteer*

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa ini dilakukan dengan berbagai variasi yaitu variasi kecepatan 20 km/jam – 50 km/jam. Variasi sudut belok $5^\circ - 35^\circ$. Variasi sudut kemiringan melintang jalan $0^\circ, 2,29^\circ, 3,34^\circ, 4,57^\circ, \text{ dan } 5,7^\circ$. Variasi koefisien gesek 0,5, 0,7, dan 0,9. Analisa dilakukan dengan variasi posisi *center of gravity* berdasarkan kondisi yang divariasikan.

A. Analisa Perilaku Arah Belok Kendaraan

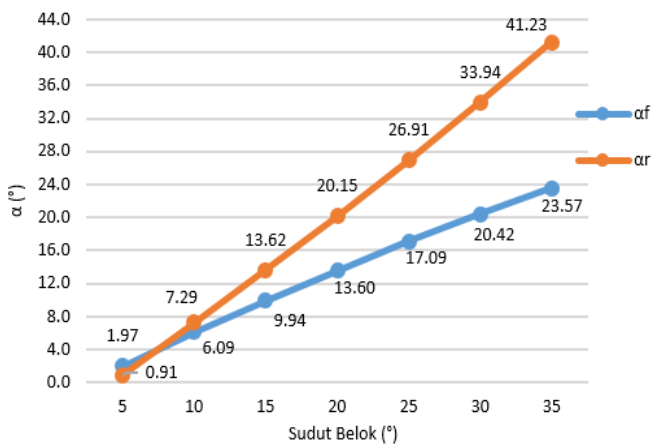
Gambar 4 merupakan grafik nilai K_{us} bus *double deck* yang menunjukkan kondisi belok paling baik. Berdasarkan dari gambar 4 dapat diketahui bahwa kendaraan mengalami kondisi *oversteer* paling sedikit dan memiliki nilai koefisien *understeer* yang bernilai positif kecil. Kondisi ini terjadi ketika kendaraan melaju pada jalan datar.



Gambar 4. Grafik Koefisien *Understeer* (Kus) vs Sudut Belok pada Kondisi 4 (Ekstrim Depan)

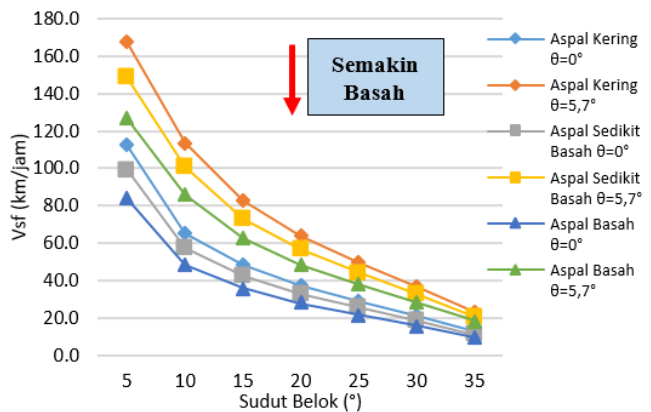
B. Analisa Slip Berdasarkan Variasi Kondisi

Gambar 5 merupakan grafik sudut *slip* roda depan dan belakang terhadap sudut belok yang diberikan. Dapat dilihat pada grafik bahwa semakin bertambahnya sudut belok maka sudut *slip* akan semakin bertambah. Sudut *slip* terbesar terjadi pada sudut belok 35°.

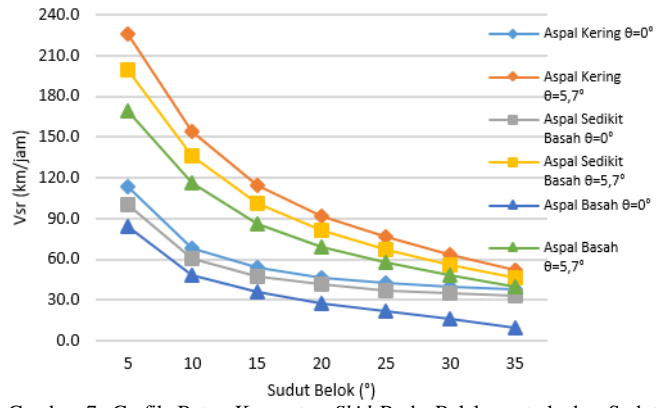


Gambar 5. Grafik Sudut *Slip* Roda Depan dan Roda Belakang terhadap Sudut Belok saat Kecepatan 50 km/jam pada Kondisi 4 (Ekstrim Depan)

C. Analisa Skid



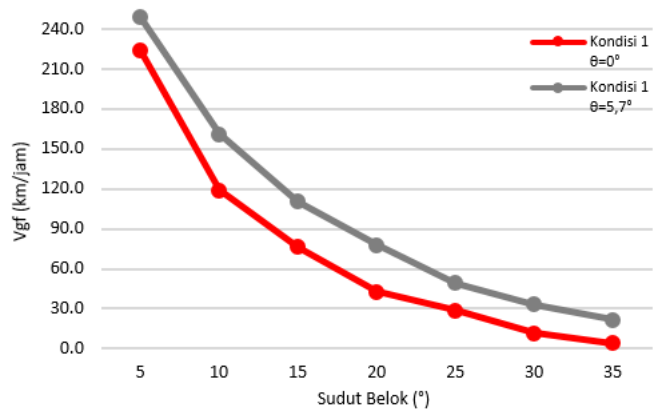
Gambar 6. Grafik Batas Kecepatan *Skid* Roda Depan terhadap Sudut Belok pada Kondisi 4 (Ekstrim Depan)



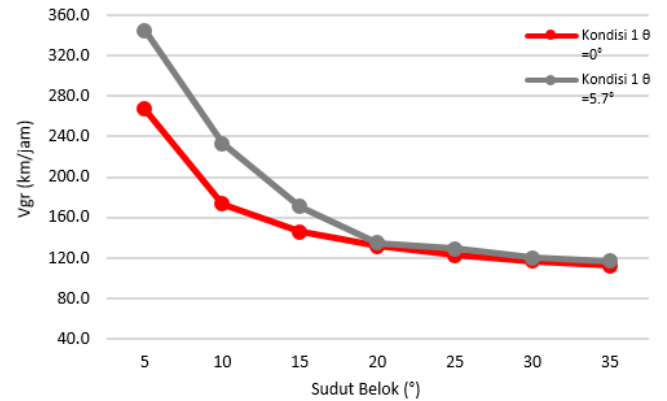
Gambar 7. Grafik Batas Kecepatan *Skid* Roda Belakang terhadap Sudut Belok pada Kondisi 4 (Ekstrim Depan)

Berdasarkan hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan pada gambar 6 dan 7, dapat diketahui bahwa bus *double deck* batas kecepatan maksimum tidak mengalami *skid* akan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya sudut kemiringan melintang jalan dan koefisien gesek. Sedangkan ketika sudut beloknya bertambah maka kecepatan *skid* akan semakin kecil. Ketika kendaraan melaju pada jalan aspal kering memiliki kecepatan *skid* lebih besar daripada jalan aspal basah karena koefisien gesek aspal kering lebih besar daripada aspal basah. Selain itu juga dapat diketahui bahwa batas kecepatan *skid* roda depan lebih kecil daripada batas kecepatan *skid* roda belakang ini berarti kendaraan ini cenderung mengalami perilaku arah *understeer*.

D. Analisa Guling



Gambar 8. Grafik Batas Kecepatan Guling Roda Depan terhadap Sudut Belok pada Kondisi 4 (Ekstrim Depan)



Gambar 9. Grafik Batas Kecepatan Guling Roda Belakang terhadap Sudut Belok pada Kondisi 4 (Ekstrim Depan)

Berdasarkan gambar 8 dan 9 dapat diketahui bahwa semakin bertambahnya sudut belok maka batas kecepatan maksimum tidak guling akan semakin kecil, sedangkan untuk penambahan sudut kemiringan jalan maka batas kecepatan

guling akan semakin meningkat. Selain itu juga dapat diketahui bahwa batas kecepatan maksimum tidak mengalami guling pada roda depan lebih kecil daripada roda belakang itu artinya kendaraan ini cenderung mengalami perilaku arah *understeer*.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Stabilitas arah paling baik untuk kendaraan bus *double deck* ketika kendaraan pada kondisi 4 karena kendaraan memiliki nilai koefisien *understeer* yang kecil yaitu +7,6869 dan mengalami kondisi *oversteer* yang rendah yaitu -6,993.

Semakin besar sudut belok yang diberikan maka sudut *slip* akan semakin besar. Pada kondisi 4 (Ekstrim Depan) sudut *slip* depan dan belakang dengan variasi sudut belok terbesar terdapat pada sudut belok (δ_f) sebesar 35° yaitu $23,57^\circ$ dan $41,23^\circ$. Sedangkan sudut *slip* terkecil terdapat pada sudut belok sebesar 5° yaitu $1,97^\circ$ dan $0,91^\circ$.

Semakin besar sudut belok, maka batas kecepatan maksimum tidak mengalami *skid* akan semakin kecil. Pada kondisi 4, saat melaju pada kecepatan 50 km/jam di jalan aspal kering batas kecepatan maksimum tidak mengalami *skid* roda depan (V_{sf}) dan roda belakang (V_{sr}) pada sudut belok 5° yaitu 112,75 km/jam dan 113,49 km/jam. Sedangkan pada sudut belok sebesar 35° batas kecepatan maksimum tidak mengalami *skid* yaitu 12,64 km/jam dan 37,81 km/jam. Semakin besar koefisien gesek, maka batas kecepatan maksimum tidak mengalami *skid* akan semakin besar. Pada kondisi basah, kendaraan lebih mudah mengalami *skid*.

Semakin besar sudut belok, maka kecepatan maksimum agar kendaraan tidak guling roda depan (V_{gr}) dan belakang (V_{gr}) akan semakin menurun. Pada kondisi 4, saat sudut belok sebesar 5° yaitu 223,49 km/jam dan 266,93 km/jam. Sedangkan, saat sudut belok (δ_f) sebesar 35° , batas kecepatan maksimum tidak mengalami guling sebesar 3,91 km/jam dan 112,46 km/jam.

Berdasarkan analisa *slip*, *skid*, dan guling kendaraan bus *double deck* ini cenderung mengalami kondisi *understeer* karena sudut *slip* roda depan (α_f) > sudut *slip* roda belakang (α_r), batas kecepatan *skid* roda depan (V_{sf}) < roda belakang (V_{sr}), dan batas kecepatan guling roda depan (V_{gr}) < roda belakang (V_{gr}).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, 2018. **Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis Tahun 1949-2016**. <URL: <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>>.
- [2] Katadata, 2018. **Berapa Jumlah Penduduk Indonesia**. <URL: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2018/01/12/berapa-jumlah-penduduk-indonesia>>.
- [3] Komisi Nasional Keselamatan Transportasi, 2016. **Data Investigasi Kecelakaan LLAJ Tahun 2010-2016**. <URL : <http://knkt.dephub.go.id/>>.
- [4] I. N. Sutantra dan B. Sampurno, 2010. **Teknologi Konstruksi Otomotif, Edisi Kedua**. Surabaya: Guna Widya
- [5] F. Rahman, 2017. **Analisis Stabilitas Arah Mobil Toyota Agya dengan Variasi Jumlah Penumpang, Kecepatan Belok, Sudut Belok dan Kemiringan Melintang Jalan**. Surabaya: ITS
- [6] D. Andriansyah, 2016. **Analisis Pengaruh Operasional dan Penggunaan Stabilizer terhadap Perilaku Arah Belok Mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR (AT 4X4)**. Surabaya: ITS.