

Analisis Stabilitas Arah Mobil Toyota Agya G dengan Variasi Jumlah Penumpang, Kecepatan Belok, Sudut Belok dan Kemiringan Melintang Jalan

Faisal Rahman, Achmad Syaifudin, I Nyoman Sutantra

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: tantra@me.its.ac.id

Abstrak — Mobil jenis *Low Cost Green Car* (LCGC) semakin banyak digunakan masyarakat karena harganya yang murah dan ramah lingkungan. Meski termasuk kendaraan dengan biaya produksi yang rendah, adanya analisis perilaku arah kendaraan tetap diperlukan untuk menjamin kenyamanan dan keamanan pengemudi. Pada penelitian ini, analisis *slip*, *skid* dan guling dilakukan untuk mengetahui stabilitas kendaraan jenis LCGC, yaitu Toyota Agya. Pengaruh jumlah penumpang, kecepatan, sudut belok dan kemiringan melintang jalan terhadap *slip*, *skid* dan guling juga diperhitungkan. Sebagai komparatif studi, uji jalan dilakukan untuk mendapatkan koefisien *understeer* dan mengetahui kecepatan kendaraan dalam kondisi *skid*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mobil Toyota Agya mengalami kondisi stabilitas paling baik ketika dinaiki oleh 2 orang penumpang dengan sudut kemiringan melintang jalan 5.7° . Sedangkan kecepatan maksimum kendaraan tidak terguling terjadi pada kecepatan 94,987 km/jam untuk sudut belok 5° dan pada kecepatan 46,585 km/jam sudut belok 25° .

Kata Kunci— guling, koefisien *understeer*, *oversteer*, *skid*, *slip*

I. PENDAHULUAN

KEHADIRAN kendaraan jenis *Low Cost Green Car* (LCGC) menarik perhatian publik secara luas, sehingga semakin banyak digunakan masyarakat. Mobil tipe LCGC menjadi segmen dengan penjualan terbesar di Indonesia. Salah satu mobil tipe LCGC yang menjadi paling laris adalah Toyota Agya^[1]

Seiring dengan bertambahnya jumlah mobil di jalanan berbanding lurus dengan angka kecelakaan yang terjadi. Data dari Badan Pusat Statistik Indonesia pada tahun 2012 terjadi 117.949 kasus kecelakaan di Indonesia^[2]. Data ini naik sekitar 8.3 % setiap tahunnya. Dari analisis yang dilakukan Komisi Nasional Keselamatan dan Transportasi (KNKT) menyebutkan bahwa mobil-mobil di Indonesia kurang memenuhi standar kestabilan^[3]. Oleh karena itu diperlukan analisis kestabilan pada kendaraan khususnya mobil Toyota Agya yang baru dikeluarkan oleh Toyota untuk memberikan informasi kepada para pengemudi. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui stabilitas arah mobil Toyota Agya tipe G, besarnya sudut *slip* yang terjadi pada ban depan dan ban belakang dengan variasi jumlah penumpang, kecepatan belok, sudut belok dan kemiringan melintang jalan tersebut ketika berbelok dengan kecepatan tertentu. Penelitian ini menggunakan tiga metode analisis yaitu, analisis *slip*, *skid* dan guling.

II. URAIAN PENELITIAN

Studi ini melibatkan metode analitis dan divalidasi dengan uji jalan. Sebelum melakukan analisis diperlukan posisi *center of gravity* dan data spesifikasi mobil Toyota Agya tipe G yang digunakan untuk analisis stabilitas arah kendaraan tersebut. Cara mengetahui letak *center of gravity* mobil Toyota Agya ini adalah dengan menimbang bagian depan dan bagian belakang kendaraan pada posisi horizontal. Dengan menggunakan prinsip statika, akan didapat letak *center of gravity* kendaraan tersebut. Untuk mencari tinggi *center of gravity* kendaraan dapat dilakukan dengan cara yaitu menimbang poros mobil bagian depan dan mendongkrak poros bagian belakang sehingga membentuk sudut θ . Sehingga didapat tinggi *center of gravity* kendaraan tersebut.

Tabel 1. Spesifikasi mobil Toyota Agya G^[4]

| Dimensi Kendaraan | |
|------------------------------|------------------------------------|
| Overall Panjang | 3600 mm |
| Overall Lebar | 1620 mm |
| Overall Tinggi | 1520 mm |
| Wheelbase (L) | 2450 mm |
| Jarak Pijak Depan (TF) | 1410 mm |
| Jarak Pijak Belakang (TR) | 1405 mm |
| Radius Putar (Rack) | 4400 mm |
| Jarak suspensi depan (bf) | 1000 mm |
| Jarak suspensi belakang (br) | 1000 mm |
| Massa | |
| Massa Total | 840 kg |
| Massa Kendaraan depan | 509.5 kg |
| Massa kendaraan belakang | 330.5 kg |
| Suspensi | |
| Suspensi Depan | MacPherson Struts |
| Suspensi Belakang | Semi independent torsion axle beam |
| Ban | |
| Jenis | Radial |
| Tipe ban | 175/65 R14 with steel & wheel cap |

Setelah dilakukan analisis perhitungan, selanjutnya dilanjutkan dengan melakukan uji jalan untuk memvalidasi hasil perhitungan tersebut.

A. Analisis Slip

Ada beberapa penyebab ban mengalami *slip*. Salah satunya adalah 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*. Untuk mengetahui seberapa besar sudut *slip* yang terjadi pada ban,

maka penting untuk mengetahui gaya – gaya yang terjadi pada kendaraan saat berbelok. Berikut adalah persamaan sudut slip yang terjadi pada ban.

$$\alpha_i = 0,3 \cdot \frac{C_{rp}}{C_{rs}} \cdot \frac{C_{rx}}{C_{ro}} [0,087935 (F_{y_i} \alpha)^{0,79008} - 0,005277 (F_{z_i})] \quad (1)$$

dimana, α_i merupakan sudut slip yang terjadi pada setiap ban, F_{y_i} merupakan gaya lateral yang terjadi pada setiap ban. F_{z_i} merupakan gaya normal yang terjadi pada ban. Koefisien 0.3 merupakan angka modifikasi yang ditambah untuk ban saat ini, dikarenakan perumusan diatas merupakan rumus sudut slip ban lama^[5]. C_{rp} merupakan perumusan tekanan aktual pada ban (P) dengan persamaan sebagai berikut :

$$C_{rp} = 3,35 + 5,30 (P) - 0,0916 (P)^2 \quad (2)$$

Untuk C_{rs} merupakan perumusan tekanan standar ban (P_s) kendaraan dengan persamaan sebagai berikut

$$C_{rs} = 3,35 + 5,30 (P_s) - 0,0916 (P_s)^2 \quad (3)$$

Sedangkan C_{rx} dan C_{ro} merupakan perumusan gaya longitudinal yang terjadi pada ban

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y_i} \alpha + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{0,474998} \quad (4)$$

$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y_i} \alpha}{161,1398} \right]^{0,474998} \quad (5)$$

Setelah memasukan nilai ke persamaan tersebut, sehingga didapatkan nilai sudut slip pada masing – masing ban. Jika sudut slip ban depan lebih besar dibandingkan sudut slip ban belakang, maka kendaraan akan cenderung mengalami kondisi *understeer*. Jika sudut slip ban depan lebih kecil dibandingkan sudut slip ban belakang maka kendaraan akan mengalami kondisi *oversteer*. Dan jika sudut slip ban depan dan belakang sama maka akan mengalami kondisi netral

B. Analisis Skid

Fenomena *skid* terjadi karena besarnya gaya lateral yang terjadi pada ban melebihi gaya gesek antara ban dengan permukaan jalan atau $F_{cfy} = F_{zf} \cdot \mu$. Kecepatan maksimum kendaraan tidak mengalami *skid* dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \frac{\mu \cdot l_r (W)}{l_r \cos \beta - \mu \cdot h \cdot \sin \beta}} \quad (6)$$

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \frac{\mu \cdot l_f (W)}{l_f \cos \beta - \mu \cdot h \cdot \sin \beta}} \quad (7)$$

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \left[\frac{(\mu \cdot l_r \cdot W \cos \theta) + (l_r \cdot W \sin \theta)}{l_r (\cos \beta \cdot \cos \theta - \mu \cos \beta \cdot \sin \theta) - h \cdot \mu \sin \beta} \right]} \quad (8)$$

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \left[\frac{(\mu \cdot l_f \cdot W \cos \theta) + (l_f \cdot W \sin \theta)}{l_r (\cos \beta \cdot \cos \theta - \mu \cos \beta \cdot \sin \theta) - h \cdot \mu \sin \beta} \right]} \quad (9)$$

dimana jika kecepatan skid roda depan lebih besar dibandingkan dengan roda belakang maka kendaraan cenderung *oversteer*, demikian pula sebaliknya. Dari

persamaan (6) dan (7) merupakan kecepatan *skid* roda depan dan belakang pada jalan datar. Untuk persamaan (8) dan (9) merupakan kecepatan *skid* roda depan dan belakang pada jalan miring.

C. Analisis Guling

Analisis guling dilakukan untuk mengetahui batas kecepatan agar roda dari kendaraan tidak terangkat. Kendaraan akan mengalami roda terangkat jika gaya normal dari salah satu ban bernilai 0 atau $F_z = 0$

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \frac{0,5 l_r (W) - l_r \frac{M g f}{t_f}}{l_r \cdot h \cdot \cos \beta - 0,5 h \cdot \sin \beta}} \quad (10)$$

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \frac{0,5 l_f (W) - l_f \frac{M g r}{t_f}}{l_f \cdot h \cdot \cos \beta - 0,5 h \cdot \sin \beta}} \quad (11)$$

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \left[\frac{0,5 l_r \cdot (W \cos \theta) - \frac{l_r \cdot (h \cdot W \sin \theta - M g f)}{t_f}}{l_r \cdot h \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta / t_f - 0,5 (l_r \cos \beta \cdot \sin \theta + h \cdot \sin \beta)} \right]} \quad (12)$$

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{R \cdot g}{W} \left[\frac{0,5 l_f \cdot (W \cos \theta) - \frac{l_f \cdot (h \cdot W \sin \theta - M g r)}{t_r}}{l_f \cdot h \cdot \cos \beta \cdot \cos \theta / t_r - 0,5 (l_f \cos \beta \cdot \sin \theta - h \cdot \sin \beta)} \right]} \quad (13)$$

dimana jika kecepatan guling roda depan lebih besar dibandingkan dengan kecepatan guling roda belakang, maka kendaraan cenderung *oversteer*, demikian pula sebaliknya. Dari persamaan (10) dan (11) merupakan kecepatan guling roda depan dan belakang pada jalan datar. Untuk persamaan (12) dan (13) merupakan kecepatan guling roda depan dan belakang pada jalan miring.

D. Uji Jalan dengan Radius Belok Tetap

Uji jalan ini dilakukan untuk memvalidasi perhitungan stabilitas arah kendaraan dan kecepatan kendaraan tersebut

Parameter yang digunakan untuk uji jalan sebagai berikut :

1. Mobil yang digunakan adalah Toyota Agya tipe G dengan spesifikasi kendaraan pada tabel 1
2. Radius putar uji jalan 10 m
3. Kecepatan uji jalan dimulai dengan 10 km/jam, kemudian dicatat sudut beloknya (δ)
4. Penambahan kecepatan sebesar 5 km/jam hingga mengalami *skid*. Kemudian dicatat kecepatan *skid* dari kendaraan tersebut.

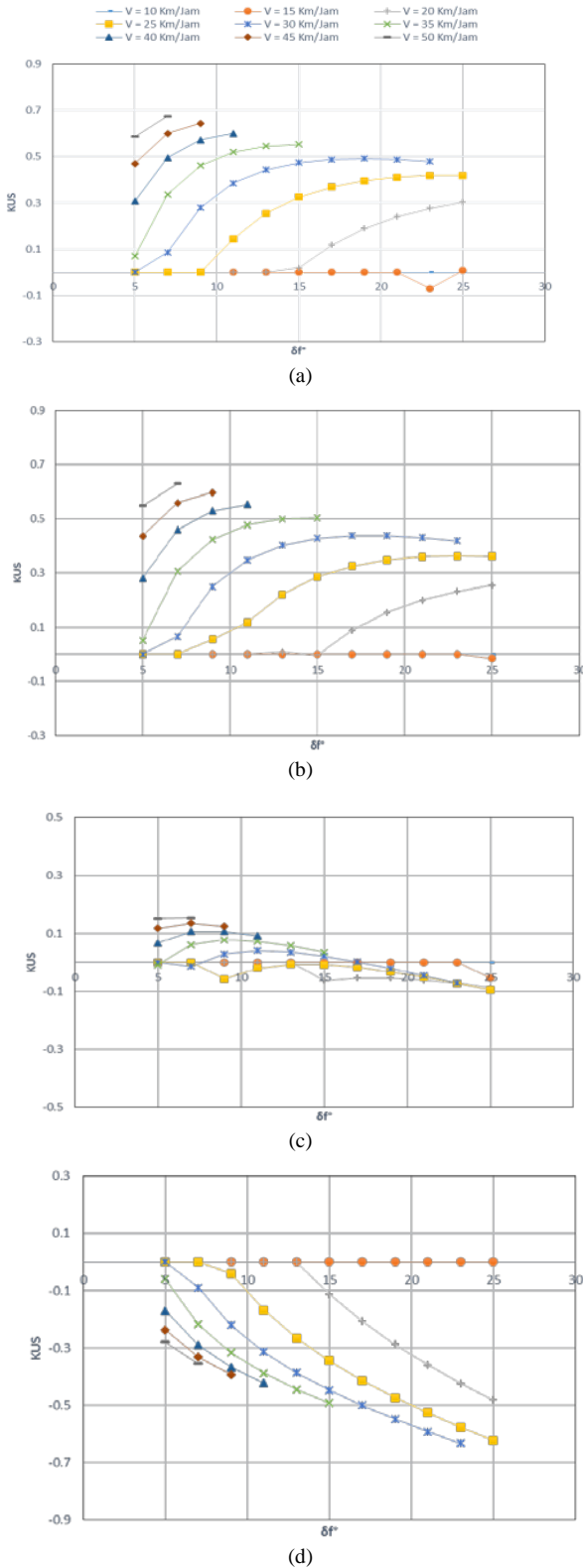
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Slip

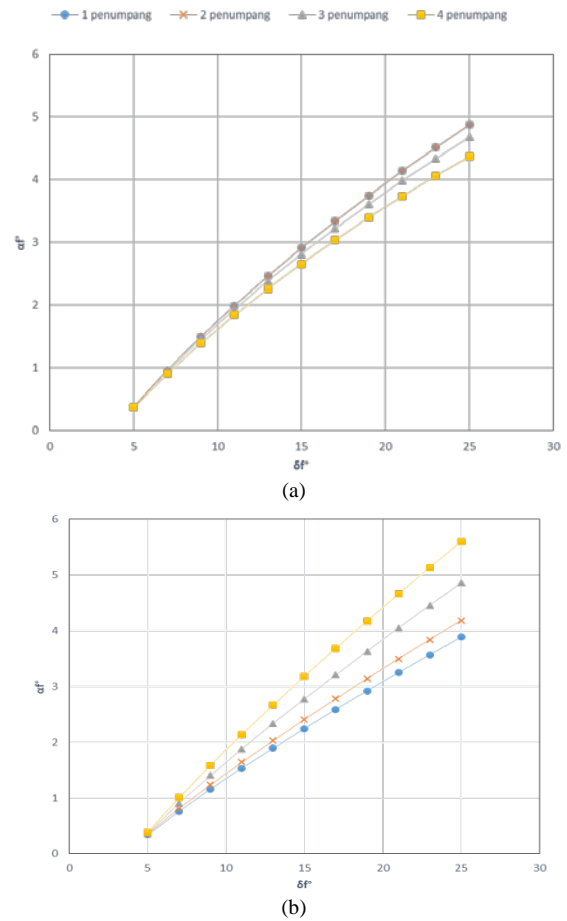
Gambar 1 adalah grafik nilai Kus mobil Toyota Agya dengan variasi jumlah penumpang. Pada bagian sumbu absis merupakan sudut belok kendaraan dan sumbu ordinat merupakan nilai koefisien *understeer* kendaraan. Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa ketika kendaraan dinaiki oleh 2 penumpang mengalami kondisi stabilitas arah yang baik. Hal ini dikarenakan pada kondisi tersebut memiliki nilai koefisien *understeer* yang bernilai positif paling kecil dan mengalami kondisi *oversteer* sedikit. Sedangkan ketika kendaraan dinaiki 3 hingga 4 penumpang kendaraan cenderung mengalami kondisi *oversteer*, karena memiliki nilai koefisien *understeer* negatif yang relatif lebih

banyak sehingga kendaraan sulit untuk dikendalikan. Oleh karena itu pengemudi diharapkan lebih berhati-hati ketika membawa lebih dari 2 penumpang.

Dari gambar 1 kita dapat mengetahui kapan terjadinya skid pada mobil Toyota Agya tipe G. Saat kecepatan 30 km/jam dan sudut belok 23° perhitungan analisis slip dihentikan, karena ketika sudut belok 25° mobil telah mengalami skid.



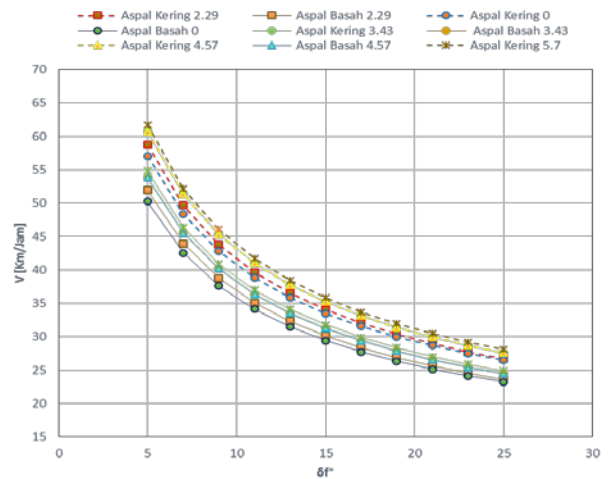
Gambar 1. Hubungan nilai koefisien *understeer* terhadap sudut belok dengan (a) 1 orang, (b) 2 orang, (c) 3 orang, (d) 4 orang penumpang pada kemiringan jalan 5.7°.



Gambar 2. Hubungan (a) sudut slip roda depan dan (b) roda belakang (α_r) dengan sudut belok pada kecepatan 35 km/jam, $\theta = 5.7^\circ$ dengan variasi jumlah penumpang

Gambar 2 dapat menunjukkan sudut slip roda belakang semakin meningkat dengan bertambahnya jumlah penumpang pada kendaraan tersebut. Akan tetapi pada sudut slip roda depan saat jumlah penumpang 1 & 2 meningkat sudut slip pada ban, kemudian menurun saat dinaiki oleh 3 & 4 penumpang. Hal ini terjadi karena adanya pergeseran letak *center of gravity* pada kendaraan tersebut. Karena pertambahan penumpang berbanding lurus dengan besarnya sudut slip yang terjadi di ban belakang. Demikian pula sebaliknya.

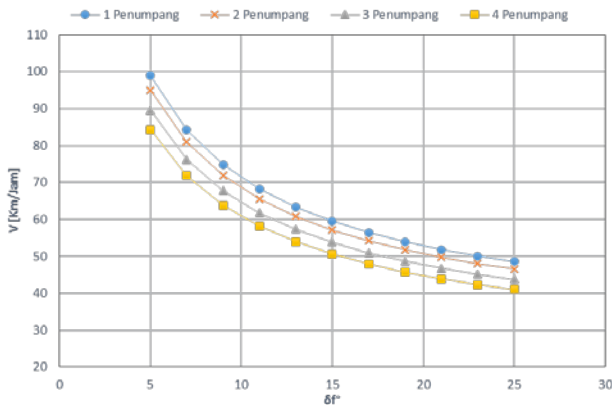
B. Analisis Skid



Gambar 3. Hubungan batas kecepatan *skid* dan sudut belok dengan 2 orang penumpang pada berbagai variasi kemiringan melintang jalan

Berdasarkan hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada gambar 3, dapat diketahui bahwa mobil Toyota Agya memiliki kecepatan *skid* yang paling tinggi ketika melintasi kemiringan jalan 5.7° pada aspal kering dan yang paling rendah ketika melintasi jalan datar pada aspal basah. Dengan sudut belok 13°, kecepatan *skid* depan kendaraan pada jalan miring aspal kering dengan sudut 5.7° sebesar 38.425 km/jam, sedangkan pada jalan datar basah sebesar 31.497 km/jam. Berdsarkan analisis *skid* dapat dikatakan bahwa mobil Toyota Agya mengalami kondisi *understeer* karena $V_{sf} < V_{sr}$.

C. Analisis Guling pada Kendaraan



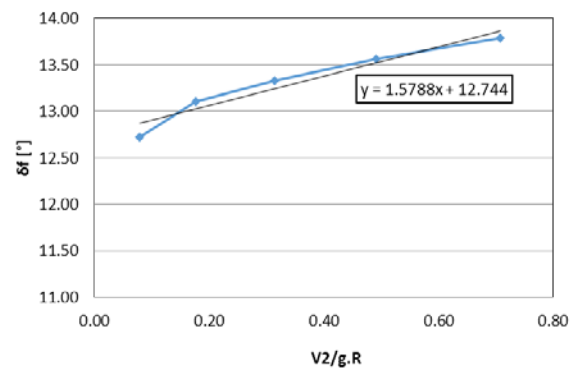
Gambar 4 Hubungan batas kecepatan guling roda depan (Vgf) dengan sudut belok (delta f) dan sudut kemiringan melintang jalan 5.7°

Pada gambar 4 dapat diketahui bahwa kecepatan guling kendaraan mengalami penurunan seiring dengan penambahan sudut belok yang diberikan. Hal itu juga terjadi ketika dilakukan penambahan penumpang Pada sudut belok 13° dengan 1 penumpang dan kemiringan jalan 5.7°, batas kecepatan agar kendaraan tidak terguling sebesar 68.28 km/jam sedangkan dengan 4 orang penumpang hanya sebatas 53.89 km/jam.

Besarnya nilai K_{US} merupakan *slope* dari garis lurus yang dibuat dari hasil yang didapat pada uji jalan, yaitu sebesar 1.5788. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mobil Toyota Agya cenderung mengalami kondisi *understeer*. Hal ini sesuai dengan hasil perhitungan yang didapatkan untuk radius nyata sebesar 10 meter yang sebagian besar bernilai positif. Pada tabel 2 dapat dilihat perbandingan besar kecepatan *skid* kendaraan dengan sudut belok hasil dari uji jalan

Tabel 2. Perbandingan kecepatan *skid* hasil analisis dengan hasil uji jalan.

| Permukaan Jalan | Hasil Analisis | | Hasil Uji Jalan | |
|-----------------|----------------|----------|-----------------|----------|
| | delta f | V. Skid | delta f | V. Skid |
| | [°] | [Km/Jam] | [°] | [Km/Jam] |
| Aspal Basah | 13.71 | 30.68 | 13.71 | 30 |



Gambar 5 Hubungan sudut belok antara $\frac{v^2}{g \cdot R}$ hasil uji jalan radius belok 10 meter jalan aspal dengan 2 orang penumpang

IV. KESIMPULAN

Setelah dilakukannya analisis stabilitas arah mobil Toyota Agya tipe G, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Stabilitas arah yang paling baik untuk mobil Toyota Agya tipe G ketika kendaraan dinaiki oleh (dua) orang penumpang adalah kendaraan memiliki nilai koefisien *understeer* yang kecil dan mengalami kondisi *oversteer* yang rendah. Hal ini disebabkan Batas kecepatan agar kendaraan tidak mengalami *skid* dengan 2 orang penumpang dan sudut belok 13° pada jalan aspal kering, yang terkecil dengan sudut kemiringan melintang jalan 0° sebesar 35.835 km/jam dan 36.076, dan yang terbesar pada sudut kemiringan melintang jalan 5.7° sebesar 38.424 km/jam dan 39.008 km/jam. Untuk aspal basah batas kecepatan agar kendaraan tidak mengalami kondisi *skid*, yang terkecil dengan sudut kemiringan melintang jalan 0° sebesar 31.497 km/jam dan 31.66 km/jam dan yang terbesar dengan sudut kemiringan melintang jalan 5.7° sebesar 34.117 km/jam dan 34.513 km/jam.
2. Semakin banyak jumlah penumpang yang berada didalam mobil, maka batas kecepatan mobil tidak terguling akan semakin menurun. Batas kecepatan agar mobil Toyota Agya tidak terguling pada sudut belok 15° dengan jalan aspal datar adalah untuk 1 penumpang sebesar 53.099 km/jam, untuk 2 orang penumpang sebesar 51.431 km/jam, untuk 3 orang penumpang sebesar 49.026 km/jam dan untuk 4 orang penumpang sebesar 46.436 km/jam.
3. Semakin bertambahnya kecepatan dan sudut belok maka semakin besar sudut slip yang terjadi pada ban depan dan ban belakang. Sudut slip terbesar terjadi pada 4 penumpang, sudut belok 25° dengan kecepatan 50 km/jam pada jalan datar yaitu sebesar 8.848° untuk ban depan dan 11.44° untuk ban belakang.

Dari hasil penelitian diatas dapat diketahui bahwa pengemudi harus berhati – hati ketika membawa lebih dari 2 penumpang, karena kendaraan sulit dikendalikan dan rentan terguling. Hasil studi ini merekomendasikan untuk Mengurangi kecepatan saat berbelok tidak lebih dari 46 km/jam ketika sudut belok 15 °.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Gaikindo. (2014). *Domestic Market & Exim*. Retrieved from www.gaikindo.or.id: http://www.gaikindo.or.id/data-by-category-2014/

[2] Badan Pusat Statistitik, 2013. Jumlah Angka Kecelakaan pada 1987-2013, <URL : http : // www. bps. go. Id /index .php/linkTabelStatis/1415 ; [Accessed 20.03.16].

- [3] Komisi Nasional Keselamatan Transportasi, (2014). *Laporan Investigasi KNKT Jalan Raya*. Accessed at [www.http://knkt.dephub.go.id/http://knkt.dephub.go.id/webknkt/investigasi_report.php?id=15](http://knkt.dephub.go.id/http://knkt.dephub.go.id/webknkt/investigasi_report.php?id=15)
- [4] TOYOTA ASTRA MOTOR (2016) Accessed at 16.05.16 <http://www.toyota.astra.co.id/product/agya/#specifications>
- [5] Sutantra, I Nyoman, dan Bambang Sampurno. 2010. *Teknologi Konstruksi Otomotif*, Edisi Kedua. Surabaya: Guna Widya.