

Analisis Pengaruh Parameter Operasional Terhadap Perilaku Belok dan Stabilitas Pada Panser Anoa 6X6 APC

Sanditra Muda Yusviva dan I Nyoman Sutantra

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

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

Abstrak—Dalam menjaga keamanan dan pertahanan NKRI, lembaga-lembaga seperti TNI dan POLRI memerlukan dukungan kelengkapan-kelengkapan yang optimal, baik kelengkapan diri, persenjataan, dan kendaraan khusus militer. Panser Anoa 6x6 APC merupakan kendaraan khusus yang didesain sebagai kendaraan *support* dalam medan pertempuran. Keberhasilan Panser Anoa 6x6 APC dalam operasi-operasi militer harus didukung dengan performa *handling* dan stabilitas yang mumpuni. Untuk itu, perlu dilakukan sebuah penelitian untuk mengetahui pengaruh beberapa variasi parameter operasional terhadap perilaku belok kendaraan sebagai acuan bagi para personel militer dan *engineer* untuk mengetahui karakter *handling* dari Panser Anoa 6x6 APC yang merupakan khusus dengan 6 roda (*six-wheeled vehicle*). Pada penelitian ini, penulis akan melakukan tiga metode analisis, yaitu analisis *slip*, *skid*, dan guling dengan beberapa variasi parameter operasional yaitu kecepatan berkendara, *steering angle*, dan kondisi permukaan medan. Setelah dilakukan penelitian, didapatkan bahwa kondisi belok paling baik pada Panser Anoa 6x6 APC adalah ketika kendaraan berbelok pada kecepatan 60 Km/Jam dengan sudut belok 12° di permukaan jalan tanah, dimana kendaraan mengalami kondisi *understeer* yang paling sedikit dan koefisien *understeer* yang bernilai positif terkecil yaitu 0,9265. Sesuai dengan analisis *slip*, dan indeks K_{us} , Panser Anoa 6x6 APC memiliki karakter *handling* yang bersifat *understeer*, dimana nilai sudut *slip* depan selalu lebih besar dari sudut *slip* belakang dan nilai indeks K_{us} selalu bernilai positif pada tiap rentang kecepatan dan sudut belok yang digunakan pada penelitian. Semakin besar sudut belok yang diberikan maka kecepatan *skid* dan guling kendaraan akan semakin menurun, dimana berdasarkan analisis *skid* dapat disimpulkan bahwa Panser Anoa 6x6 APC memiliki kecenderungan untuk sedikit *oversteer* karena kecepatan *skid* depan yang nilainya sedikit lebih tinggi daripada kecepatan *skid* belakang. Demikian halnya dengan analisis guling dimana dapat disimpulkan bahwa Panser Anoa 6x6 APC memiliki kecenderungan untuk sedikit *oversteer* karena batas kecepatan guling roda depan yang nilainya sedikit lebih tinggi daripada batas kecepatan guling roda belakang. Terakhir, didapat bahwa semakin besar sudut belok dan kecepatan yang diberikan maka besarnya sudut guling yang terjadi akan semakin meningkat. Pada kecepatan 40 Km/jam, sudut guling depan yang terjadi adalah $6,093^\circ$ untuk sudut belok 8° , $7,605^\circ$ untuk sudut belok 10° , dan $9,109^\circ$ untuk sudut belok $23,44^\circ$.

Kata Kunci—Guling, *Oversteer*, Performa *handling*, *Six-wheeled vehicle*, *Skid*, *Slip*, *Understeer*.

I. PENDAHULUAN

PERTAHANAN dan keamanan suatu negara merupakan aspek penting yang harus berdiri demi tegaknya kedaulatan suatu negara, dimana kedaulatan negara yang utuh menunjukkan bahwa negara tersebut memiliki kedudukan yang sama dengan negara lain. Dalam melaksanakan tugas-tugasnya, baik POLRI dan TNI dibekali dengan alat-alat kelengkapan baik berupa kelengkapan diri, kelengkapan persenjataan personel, dan alat utama sistem senjata (alutsista).

Alutsista yang dimiliki oleh angkatan bersenjata di Indonesia terdiri dari beragam jenis pada 3 matra, darat, laut dan udara, baik berupa alutsista yang bersifat ofensif maupun suportif. Salah satu alutsista yang layak mendapat perhatian khusus adalah kendaraan lapis baja Panser Anoa 6x6 APC.

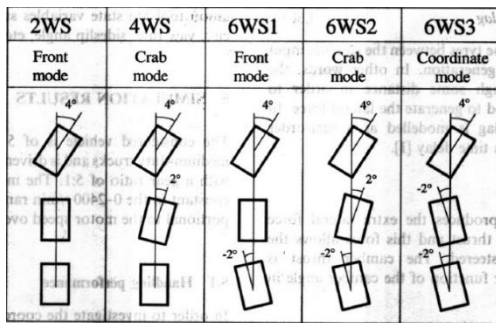
Sebagai pengangkut personel lapis baja, Panser Anoa 6x6 APC harus mampu menjelajah dengan baik di medan aspal maupun medan *off-road* tanpa mengorbankan kenyamanan maupun keselamatan personel yang diangkut. Untuk itu, kapabilitas bermanuver, stabilitas, dan pengendalian yang baik pada medan aspal maupun medan *off-road* menjadi kunci utama dalam keberhasilan misi yang dilaksanakan. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan analisis perilaku, stabilitas, dan kapabilitas bermanuver dari Panser Anoa 6x6 APC sebagai bahan pertimbangan dalam pengoperasian maupun pengembangan kendaraan tempur ini selanjutnya.

II. URAIAN PENELITIAN

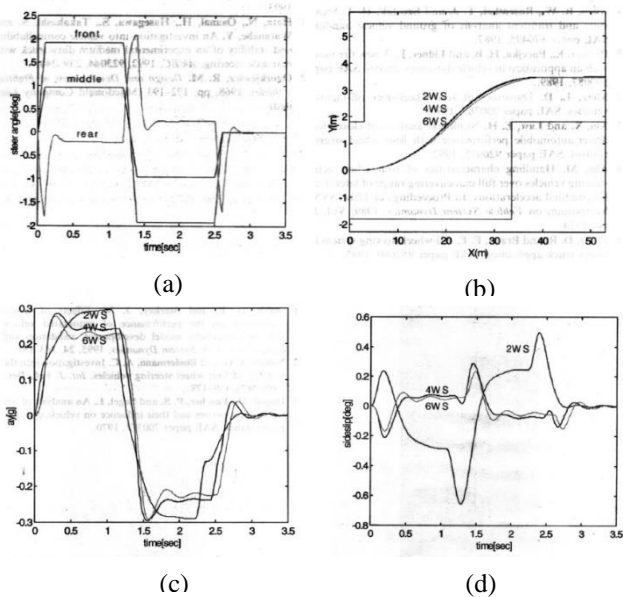
A. Penelitian Terdahulu

Analisis terhadap dinamika berbelok kendaraan dengan 6 roda telah dilakukan sebelumnya oleh K. Huh, J. Kim, dan J. Hong pada tahun 1999 [1], dimana analisis dilakukan dengan memodelkan kendaraan kedalam bentuk matematis untuk kemudian dilakukan simulasi dengan bantuan komputer. Kendaraan yang dipelajari dimodelkan kedalam bentuk sistem matematis 18 derajat kebebasan (18 DOF) dimana model tersebut terdiri dari 12 DOF sistem dinamika kendaraan non-linear, 6 DOF dinamika roda, model ban dan efek kinematik. Model matematis tersebut dianalisa dalam MATLAB/SIMULINK untuk mendapatkan parameter-parameter seperti *lateral acceleration*, *lane-change trajectory*, sudut stir, dan *sideslip angle*. Analisa ini dilakukan dengan

menggunakan variasi terhadap 5 *steering mode* yang berbeda. Jenis-jenis *steering mode* yang digunakan dalam simulasi digambarkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. *Steering Modes* yang digunakan dalam pengujian [1]



Gambar 2. Hasil simulasi yang dilakukan; (a) Grafik sudut stier yang digunakan tiap sumbu roda untuk mode 6WS, (b) Grafik *lane change trajectory*, simpangan lateral terhadap jarak tempuh longitudinal, (c) Grafik *lateral acceleration*, (d) Grafik *sideslip angle* [1]

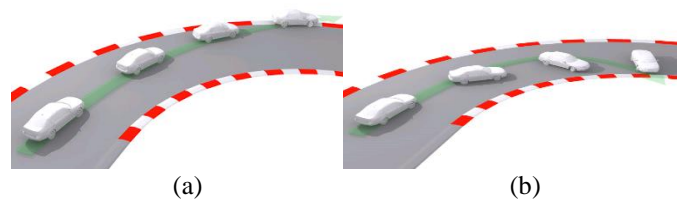
Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa gerakan belok roda tengah tidak dapat diabaikan seutuhnya dan mempengaruhi dinamika kendaraan yang diuji. Tiap-tiap *steering mode* (6WS) memiliki karakteristik pengendalian yang berbeda-beda, dimana kendaraan dengan *six-wheel steering* memiliki *gain* yang lebih besar pada *lateral acceleration* dan *yaw rate* dibanding dengan mode 2WS dan 4WS. Dilakukan juga simulasi performa perpindahan lajur secara zig-zag (*lane change maneuver*) yang dievaluasi dalam sumbu x dan y, seperti yang dapat dilihat pada gambar (2) berikut.

B. Perilaku Berbelok Kendaraan

Terdapat 4 jenis perilaku berbelok yang dapat terjadi pada sebuah kendaraan, yaitu perilaku belok ideal (Ackermann), perilaku belok netral, perilaku *understeer*, dan perilaku *oversteer* [2]. Tiap-tiap jenis perilaku berbelok dibedakan berdasarkan sudut slip yang terjadi pada tiap-tiap roda kendaraan, dimana sudut slip merupakan sudut yang terjadi antara sumbu longitudinal roda terhadap arah pergerakan nyata

roda saat berbelok.

Perilaku Ackermann dapat ditemui pada kendaraan yang sedang berbelok pada kecepatan sangat rendah atau pada kendaraan yang berbelok dengan radius belok yang sangat besar, dimana sudut slip yang terjadi pada tiap-tiap roda sangat minim atau bahkan nihil. Perilaku berbelok netral merupakan perilaku yang umum dijumpai dalam kondisi sehari-hari dimana akan dijumpai sudut slip pada tiap-tiap roda akibat adanya gaya sentrifugal yang terjadi saat kendaraan berbelok. Pada perilaku belok netral, sudut slip yang dibentuk oleh roda depan maupun belakang adalah sama besar. Apabila sebuah kendaraan memiliki sudut slip yang berbeda besarnya pada roda depan maupun belakang, maka perilaku berbeloknya dapat berupa *understeer* atau *oversteer*.



Gambar 3. Perilaku berbelok (a) *understeer* dan (b) *oversteer* [3]

Gambar 1(a) menunjukkan perilaku *understeer* dimana kendaraan berbelok kurang dari input stier yang diberikan pengemudi, sehingga kendaraan cenderung bergerak melebar keluar dari trayektori belok yang seharusnya. Hal ini disebabkan apabila kendaraan mengalami sudut slip roda depan lebih besar dari pada roda belakang. Pada kasus sebaliknya, terjadi perilaku *oversteer* yang ditunjukkan oleh gambar 1(b) dimana kendaraan berbelok melebihi input stier yang diberikan pengemudi, sehingga kendaraan cenderung bergerak menyempit dari trayektori belok yang seharusnya. Hal ini disebabkan apabila kendaraan mengalami sudut slip roda belakang lebih besar daripada roda depan.

Pada tingkat ekstrem, kondisi *understeer* dapat menyebabkan kendaraan gagal dibelokkan dan pada kondisi *oversteer* menyebabkan kendaraan terpuntir dan kehilangan kendali, sehingga kedua perilaku berbelok tersebut harus dapat diminimalisir.

C. Pengaruh Kondisi Permukaan Jalan Terhadap Perilaku Belok Kendaraan

Kondisi permukaan jalan memiliki peran yang penting terhadap perilaku arah kendaraan terutama dalam membantu menahan gaya-gaya longitudinal dan lateral yang terjadi pada kendaraan. Permukaan jalan dengan koefisien gesek yang baik akan membantu kestabilan saat berkendara. Berikut ini merupakan hasil studi dari J. J. Taborek [4] mengenai koefisien adhesi rata-rata antara ban dan jalan serta koefisien hambatan *rolling* untuk beberapa jenis permukaan jalan yang ditunjukkan oleh tabel 1 dan 2.

Koefisien adhesi dan koefisien hambat rolling berpengaruh langsung pada perilaku belok dan karakteristik handling pada kendaraan dimana koefisien adhesi berpengaruh terhadap gaya-gaya longitudinal pada roda kendaraan dan koefisien

hambat *rolling* berpengaruh kepada gaya hambat *rolling* yang harus dilawan oleh sistem pembangkit daya dan penggerak kendaraan.

Tabel 1.

Koefisien adhesi ban pada bermacam-macam jenis permukaan jalan [4]		
Permukaan Jalan	Koefisien Adhesi Tertinggi (μ_p)	Koefisien Adhesi Roda Lock (μ_s)
Aspal dan beton (kering)	0,8 - 0,9	0,75
Aspal (basah)	0,5 - 0,7	0,55 - 0,6
Beton (basah)	0,8	0,7
Gravel	0,6	0,55
Jalan tanah (kering)	0,68	0,65
Jalan tanah (basah)	0,55	0,4 - 0,5
Salju	0,2	0,15
Es	0,2	0,07

Tabel 2.

Nilai rata-rata koefisien hambatan *rolling* untuk berbagai jenis ban kendaraan dan berbagai kondisi permukaan jalan [4]

Jenis Kendaraan	Permukaan Jalan		
	Beton	Keras/Aspal	Pasir
Kendaraan penumpang	0,015	0,08	0,3
Truk	0,012	0,06	0,25
Traktor	0,020	0,04	0,2

D. Analisis Slip

Besarnya sudut slip yang terjadi pada tiap-tiap roda kendaraan dapat dirumuskan dengan persamaan berikut [5].

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

Dimana F_y merupakan gaya longitudinal dan F_z merupakan gaya vertikal yang terjadi pada tiap-tiap roda. Perumusan untuk C_{rp} , C_{rs} , C_{rx} , dan C_{ro} dapat dituliskan sebagai berikut.

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

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

$$C_{rx} = \left[\frac{F_{y\alpha_i} + 0,107927 (F_x)}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \quad (4)$$

$$C_{ro} = \left[\frac{F_{y\alpha_i}}{161,1398} \right]^{\frac{1}{0,474998}} \quad (5)$$

Hubungan antara α_f° dan α_r° menentukan perilaku kendaraan saat berbelok, dimana apabila:

- $\alpha_f > \alpha_r$, maka kendaraan akan mengalami *understeer*
- $\alpha_f = \alpha_r$, maka kendaraan mengalami perilaku netral
- $\alpha_f < \alpha_r$, maka kendaraan akan mengalami *oversteer*

E. Analisis Indeks Understeer (K_{US})

Indeks *understeer* (K_{US}) merupakan salah satu tolok ukur yang dapat digunakan untuk menentukan perilaku belok kendaraan dengan mempertimbangkan sudut slip yang terjadi pada tiap roda dan gaya sentrifugal. Nilai K_{US} dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$K_{US} = \frac{g \cdot R}{V^2} (\alpha_f^\circ - \alpha_r^\circ) \quad (6)$$

Apabila K_{US} bernilai positif, maka kendaraan akan berperilaku *understeer*. Sebaliknya, apabila K_{US} bernilai negatif, maka kendaraan berperilaku *oversteer*. Kendaraan akan berperilaku netral apabila K_{US} bernilai 0.

F. Analisis Skid

Skid atau bergesernya roda ke arah lateral terjadi apabila gaya-gaya ke arah lateral, tidak mampu lagi ditahan oleh gaya gesek yang terjadi antara permukaan roda dan permukaan jalan. Sehingga untuk menghindari terjadinya *skid*, gaya gesek antara roda dan permukaan jalan harus lebih dari atau sama dengan gaya-gaya lateral yang terjadi. Dengan begitu dapat dirumuskan suatu tingkat kecepatan yang menjadi batas maksimum sebelum terjadinya *skid* pada roda depan dan belakang, yang masing-masing disebut dengan V_{sf} dan V_{sr} , yang dirumuskan sebagai berikut.

$$V_{sf} = \sqrt{\frac{\mu \cdot F_{f_{ras}} \cdot W}{\left(\frac{F_{f_{ras}} \cdot W \cdot \cos \beta}{g \cdot R} \right) - A \cdot B}} \quad (7)$$

$$V_{sr} = \sqrt{\frac{\mu \cdot F_{f_{ras}} \cdot W}{\left(\frac{F_{f_{ras}} \cdot W \cdot \cos \beta}{g \cdot R} \right) + A \cdot B}} \quad (8)$$

Dengan,

$$A = \mu \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2} \right) \quad (9)$$

$$B = \left(r_c + h_{gf} + \left(\frac{W \cdot r_c^2}{2K_{eqf} \cdot L_f^2 + 2K_{eqm} \cdot L_m^2 + 2K_{eqr} \cdot L_r^2 - W \cdot r_c} \right) \right) \quad (10)$$

Apabila V_{sf} lebih kecil dari V_{sr} , hal ini menunjukkan kecepatan maksimum sebelum terjadi *skid* pada roda depan lebih kecil dari roda belakang, sehingga roda depan akan lebih dahulu mengalami *skid*. Hal ini menandakan kendaraan akan berperilaku *understeer*. Apabila berlaku sebaliknya, maka kendaraan akan berperilaku *oversteer*.

G. Analisis Guling

Sebuah kendaraan akan mengalami kondisi terguling (*roll*) apabila salah satu roda pada sisi kiri atau kanan kendaraan terangkat. Roda yang terangkat menandakan gaya vertikal ke arah bawah (positif) sudah tidak ada lagi (dapat bernilai nol maupun negatif). Roda yang terangkat akan mempengaruhi perilaku belok kendaraan, dimana hal tersebut dapat dianalisis dengan mengetahui kecepatan maksimum (kritis) sebelum terjadinya roda terangkat pada bagian depan maupun belakang kendaraan, yang masing-masing disebut V_{gf} dan V_{gr} . Perumusan untuk V_{gf} dan V_{gr} dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$V_{gf} = \sqrt{\frac{F_{f_{ras}} \cdot W \cdot t_f}{C - D}} \quad (11)$$

$$V_{gr} = \sqrt{\frac{F_{f_{ras}} \cdot W \cdot t_r}{C + D}} \quad (12)$$

Dengan,

$$C = \left(\frac{2W \cdot \cos \beta}{g \cdot R} \right) \left(F_{f_{ras}} \cdot h_{gf} + F_{f_{ras}} \cdot r_c + \frac{W \cdot r_c^2 \cdot F_{f_{ras}}^2}{K_{eqf} \cdot \frac{b_f^2}{2} - \left(\frac{F_f}{F} \right)_{ras} \cdot W \cdot r_c} \right)$$

$$D = t_f \left(\frac{W \cdot \sin \beta}{g \cdot R} - \frac{\rho \cdot C_D \cdot A_f}{2} \right) \cdot B \quad (13)$$

Apabila V_{gf} lebih kecil dari V_{gr} , hal ini menunjukkan kecepatan kritis sebelum roda depan terangkat lebih kecil dari roda belakang, sehingga roda depan akan lebih dahulu mengalami salah satu roda terangkat. Hal ini menandakan kendaraan akan berperilaku *understeer*. Apabila berlaku sebaliknya, maka kendaraan akan berperilaku *oversteer*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spesifikasi Teknis Kendaraan

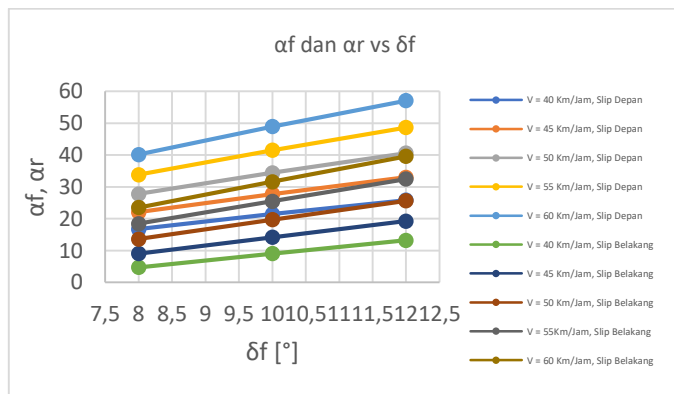
Spesifikasi teknis dari Panser Anoa 6X6 APC yang diteliti ditunjukkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 3.
Spesifikasi Teknis Panser Anoa 6X6 APC

Dimensi	
Panjang keseluruhan	6000 mm
Lebar keseluruhan	2500 mm
Jarak total sumbu roda (L)	3020 mm
Jarak antar sumbu ke sumbu berdekatan	1510 mm
Lebar pijak roda (tr)	2035 mm
Bentang titik kerja suspensi (b)	1080 mm
Radius belok minimum	<10000 mm
Ground clearance	400 mm
Massa Kendaraan	
Massa total (M)	12850 Kg
Suspensi	
Depan	Independent Torsion Bar
Kekakuan pegas suspensi depan dan tengah (K_f, K_m)	290 N/mm eqv.
Kekakuan pegas suspensi belakang (K_r)	285 N/mm eqv.
Aerodinamika	
Luas frontal kendaraan (A_f)	3,1 m ²
Massa jenis angin (ρ)	1,23 Kg/m ³
Koefisien drag (C_d)	0,55
Ban	
Jenis ban	Radial
Diameter rim	20 in
Lebar ban	400 mm

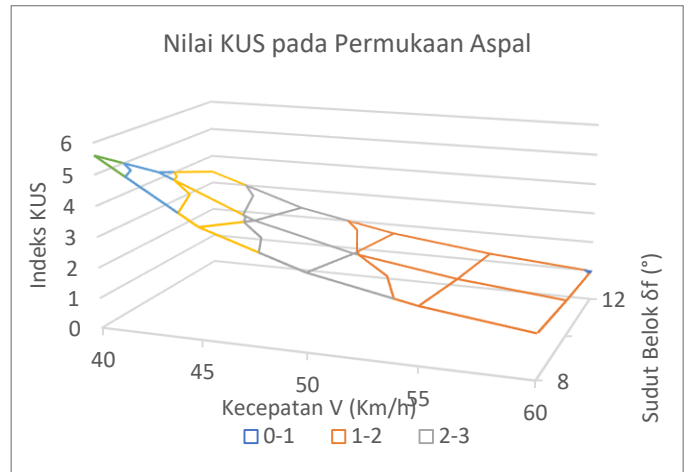
B. Analisis Skid dan K_{US}

Setelah dilakukan perhitungan terhadap sudut slip yang terjadi pada tiap-tiap roda, didapatkan nilai yang ditampilkan pada grafik di gambar 2 berikut.



Gambar 4. Grafik Perbandingan antara Sudut Slip Depan dan Belakang terhadap Sudut Belok Kendaraan

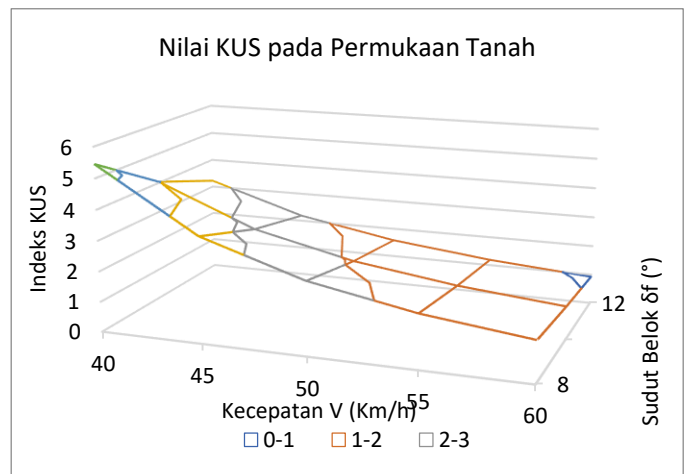
Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai sudut slip pada roda depan kendaraan selalu lebih besar daripada roda belakang. Hal ini menunjukkan kendaraan memiliki kecenderungan untuk *understeer* pada tiap rentang kecepatan dan sudut belok yang digunakan pada penelitian.



Gambar 5. Grafik Nilai KUS pada Permukaan Aspal

Terlihat pada gambar 3 dan 4 bahwa nilai K_{US} selalu bernilai positif di berbagai rentang kecepatan, sudut belok yang digunakan, maupun jenis medan yang dilalui kendaraan. Hal ini menunjukkan bahwa Panser Anoa memiliki kecenderungan untuk *understeer*.

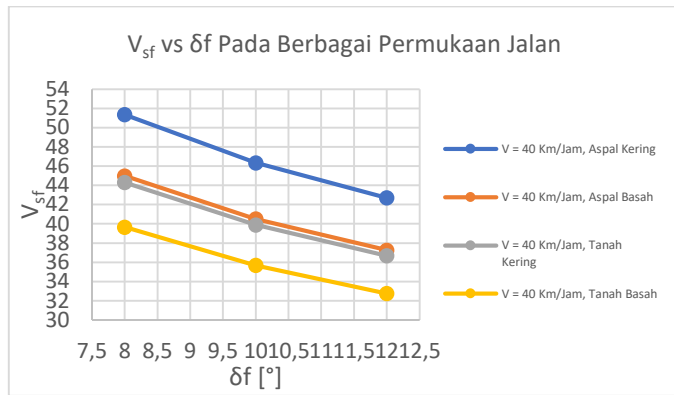
Namun, seiring kecepatan bertambah dan sudut belok yang semakin besar, hal ini akan berpengaruh kepada semakin besarnya nilai gaya sentrifugal yang akan menyebabkan kendaraan akan mulai mendekati perilaku *oversteer*, terlihat dari nilai K_{US} yang semakin menurun seiring kecepatan dan sudut belok meningkat.



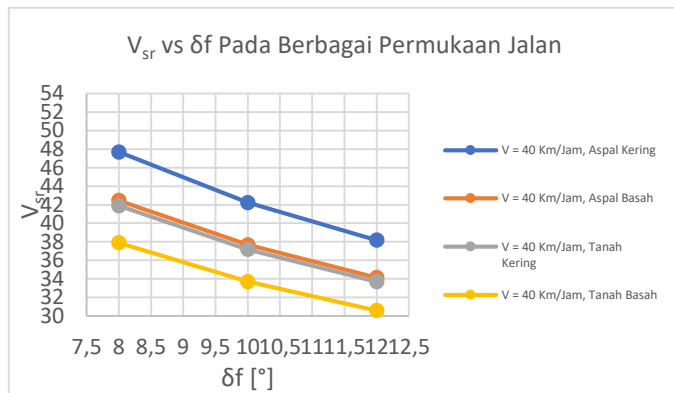
Gambar 6. Grafik Nilai KUS pada Permukaan Tanah

C. Analisis Skid

Parameter V_{sf} dan V_{sr} yang dijadikan acuan dalam analisis skid akan disajikan dalam gambar 5 dan 6 berikut.



Gambar 7. Grafik V_{sf} Terhadap Sudut Belok

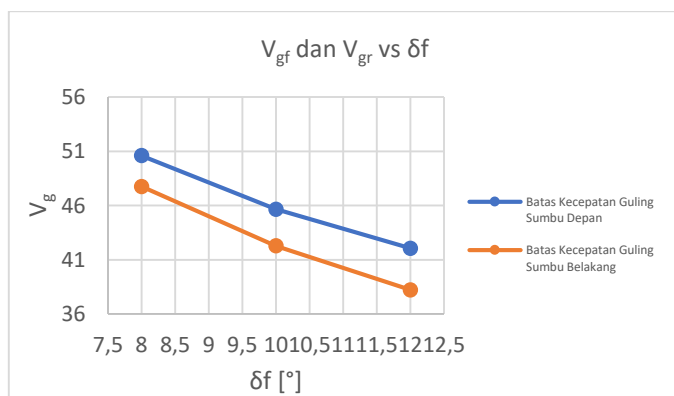


Gambar 8. Grafik V_{sr} Terhadap Sudut Belok

Terlihat bahwa pada tiap sudut belok maupun jenis permukaan jalan yang dilalui, nilai V_{sf} Panzer Anoa 6X6 APC selalu lebih besar dari nilai V_{sr} yang terjadi, namun perbedaan yang ada tidak terlalu signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan analisis *skid*, kendaraan akan cenderung memiliki karakter *oversteer*, namun tidak terlalu signifikan. Terlihat juga dari tiap-tiap jenis permukaan yang diteliti, masing-masing *trendline* data mengalami penurunan seiring menurunnya koefisien gesek yang terjadi antara ban dan masing-masing permukaan jalan.

D. Analisis Guling

Parameter V_{gf} dan V_{gr} yang dijadikan acuan dalam analisis *skid* akan disajikan dalam gambar 7 berikut.



Gambar 9. Grafik V_{gf} dan V_{gr} Terhadap Sudut Belok

Terlihat pada grafik di gambar 7 bahwa nilai V_{gf} selalu lebih besar dari V_{gr} pada berbagai rentang kecepatan, sudut belok, dan jenis permukaan yang diteliti. Hal ini menandakan bahwa Panzer Anoa 6X6 APC memiliki kecenderungan karakter *oversteer*, namun tidak signifikan.

IV. KESIMPULAN

Dapat disimpulkan dari hasil yang didapatkan bahwa secara analisis slip dan K_{US} , Panzer Anoa 6X6 APC memiliki karakter *understeer* karena sudut slip depannya yang lebih besar dari sudut slip belakang. Sementara berdasarkan analisis *skid* dan guling, kendaraan cenderung bersifat sedikit *oversteer* karena kecepatan kritis *skid* maupun gulingnya selalu lebih besar pada roda belakang. Hal yang demikian tidak bertentangan, karena kondisi *oversteer* hanya akan dialami pada kecepatan tinggi dan karakter *understeer* dari kendaraan sendiri akan menurun seiring meningkatnya kecepatan dan sudut belok kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. H. K. Huh, J. Kim, "Handling and Driving Characteristics for Six-Wheeled Vehicle," Hanyang University Korea, 1999.
- [2] D. Andriansyah, "Analisis Pengaruh Parameter Operasional dan Penggunaan Stabilizer terhadap Perilaku Arah Belok Mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR (AT 4X4)," ITS, 2016.
- [3] U. R. Malaysia, "What Is Vehicle Handling." [Online]. Available: http://ultraracing.my/v1/?page_id=2267.
- [4] J. J. Taborek, *Mechanics of Vehicle*. Cleveland: Penton Publishing Co, 1957.
- [5] dan B. S. Sutantra, I Nyoman, *Teknologi Otomotif, Edisi Kedua*. Surabaya: Guna Widya, 2010.