

ANALISIS PENGARUH DIMENSI *FRONT LOWER CONTROL ARM* TERHADAP *STATIC RIDE* PADA SUSPENSI DEPAN *DOUBLE WISHBONE*

Neil Zefanya Yohanes¹, Toni Prahasto², Djoeli Satrijo²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: neilzefanyayohanes@student.undip.ac.id

Abstrak

Kendaraan roda empat mementingkan kenyamanan berkendara. Kondisi geometri yang ideal dibutuhkan untuk mencapai kenyamanan berkendara tersebut dengan cara mensetting komponen komponen suspensi pada mobil. Suspensi merupakan salah satu bagian yang memegang peran penting dalam memperoleh kenyamanan berkendara. Suspensi menghubungkan body kendaraan dengan roda kendaraan agar memastikan roda tetap berkontak dengan jalan. Dengan adanya suspensi getaran dan guncangan akibat jalan yang tidak rata dapat teredam. Suspensi depan lah yang pertama kali menerima kejutan dari permukaan jalan. Jika pengaturan pada lengan suspensi tidak ideal maka akan menyebabkan perubahan perubahan pada geometri suspensi seperti caster, camber, toe ,dan lainnya. Dalam merancang suatu suspensi kendaraan agar berkerja secara maksimal dibutuhkan penyesuaian Lower control arm yang baik agar terhindar dari permasalahan pada suspensi. Perubahan lower control arm dapat merubah banyak geometri suspensi sehingga menyebabkan kejadian yang berbeda beda. Pada penelitian ini dilakukan guna mengetahui perubahan apa saja yang dapat disebabkan lower control arm terhadap pengujian static ride pada suspensi double wishbone. Model kendaraan acuan yang digunakan pada penelitian ini adalah mobil Innova generasi pertama dengan memvariasikan 5 pengujian yaitu lower control arm pertama sebagai geometri acuan lalu memvariasikan 4 kondisi lagi seperti saat lengan lebih pendek dan lebih panjang lalu lengan lebih ke arah kiri dan kanan dengan software Altair Motion view. Parameter yang ingin didapatkan adalah kondisi ketika roda dalam keadaan naik dan turun serta geometri seperti caster, camber, toe dan lainnya. Model terbaik pada variasi adalah model 5 yaitu saat lower control arm lebih panjang dikarenakan mobil Innova dengan suspensi double wishbone dan juga termasuk RWD lebih mengutamakan kestabilan kendaraan.

Kata kunci : *double wishbone; innova; lower control arm; suspensi*

Abstract

Four-wheeled vehicles are concerned with driving comfort. Ideal geometric conditions are needed to achieve driving comfort by setting the suspension components on the car. Suspension is one part that plays an important role in obtaining driving comfort. Suspension connects the vehicle body with the vehicle wheels to ensure the wheels remain in contact with the road. With the suspension of vibration and shock due to uneven roads can be damped. The front suspension is the first to receive a shock from the road surface. If the setting on the suspension arm is not ideal, it will cause changes to the suspension geometry such as caster, camber, toe, and others. In designing a vehicle suspension to work optimally, a Lower control arm to avoid problems with the suspension. Changes in the lower control arm can change a lot of suspension geometry, causing different events. This research was conducted to find out what changes can be caused by the lower control arm test static ride on the double wishbone suspension. The reference vehicle model used in this study is the first generation Innova car by varying 5 tests, namely the lower control arm as a reference geometry and then varying 4 more conditions such as when the arm is shorter and longer then the arm is more to the left and right with software Altair Motionviews. The parameters to be obtained are the conditions when the wheels are in an up and down state and geometries such as caster, camber, toe and others. The best model in the variation is model 5, which is when the lower control arm is longer because the Innova car with double wishbone suspension and also includes RWD prioritizes vehicle stability.

Keywords: *double wishbone; innova; lower control arm; suspension*

1. Pendahuluan

Kendaraan roda empat khususnya mobil telah menjadi kebutuhan untuk memudahkan segala aktivitas, kendaraan roda empat mementingkan kenyamanan berkendara. Kondisi geometri yang ideal dibutuhkan untuk mencapai kenyamanan berkendara tersebut dengan cara mensetting komponen komponen suspensi pada mobil. Setiap kendaraan

memiliki kondisi idealnya sendiri dalam hal kenyamanan seperti mobil perkotaan lebih mementingkan kenyamanan berkendara saat di jalan yang tidak rata [1].

Suspensi merupakan salah satu bagian yang memegang peran penting dalam memperoleh kenyamanan berkendara. Suspensi menghubungkan body kendaraan dengan roda kendaraan agar memastikan roda tetap berkontak dengan jalan. Dengan adanya suspensi getaran dan guncangan akibat jalan yang tidak rata dapat teredam. Saat kejutan dari permukaan jalan dapat diredam oleh *upper arm* dan *lower control arm*. *Lower control arm* berada pada setiap suspensi mobil, sedangkan *upper control arm* berada pada suspensi *double wishbone*. Suspensi depan lah yang pertama kali menerima kejutan dari permukaan jalan. Jika pengaturan pada lengan suspensi tidak ideal maka akan menyebabkan perubahan perubahan pada geometri suspensi seperti *caster*, *camber*, *toe*, dan lainnya [2].

Lower control arm terhubung ke rangka kendaraan dengan busung dan memungkinkan roda untuk naik dan turun sebagai respons terhadap permukaan jalan. Lengan kendali adalah bagian terpenting dari sistem suspensi. *Lower control arm* terbuat dari bahan seperti baja, besi atau aluminium. Lengan suspensi sangat penting untuk semua kendaraan di jalan, jika tidak ada lengan suspensi dalam sistem suspensi, maka diperkirakan dapat menyebabkan gangguan getaran dan penyimpangan mengemudi yang tidak diinginkan yang terkadang dapat menyebabkan kecelakaan di jalan seperti tabrakan dengan mobil lain atau halangan di jalan. dalam merancang suatu suspensi kendaraan agar berkerja secara maksimal dibutuhkan penyesuaian *Lower control arm* yang baik agar terhindar dari permasalahan pada suspensi. Perubahan *lower control arm* dapat merubah banyak geometri suspensi sehingga menyebabkan kejadian yang berbeda beda. Dasar teori geometri sistem suspensi juga dibutuhkan untuk merancang suspensi depan kendaraan seperti *caster*, *camber*, *toe*, *kingpin inclination* dan sebagainya [3].

2. Dasar Teori dan Metode Penelitian

2.1 Dasar Teori

Sistem suspensi adalah suatu mekanisme yang terletak di antara rangka dengan roda kendaraan yang berfungsi meredam getaran atau guncangan yang diakibatkan oleh keadaan jalan yang tidak rata [4]. Dalam pengujian ini menggunakan software altair Motion view digunakan untuk menguji parameter suspensi untuk mengubah dengan pendekatan kendaraan dasar asli dengan menggunakan pengujian static ride dengan 1 dof [5]. Pada pengujian ini untuk jenis sistem suspensi yang digunakan adalah sistem suspensi double wishbone, salah satu tipe suspensi yang memiliki 2 arm terpasang pada body yaitu arm atas dan bawah. Double wishbone biasanya digunakan pada mobil penggerak depan [6]. Ketika analisis berjalan akan ada perubahan geometri yang terjadi yaitu :

Camber merupakan tingkat kemiringan roda pada sudut vertikal dilihat dari depan. Tujuan dari sudut ini untuk memberikan keseimbangan gaya pada roda yang kecenderungannya kearah dalam [7].

Caster merupakan kemiringan sumbu putar kemudi (King pin) terhadap garis tengah roda vertikal jika dilihat dari arah samping kendaraan [7].

Toe merupakan sudut yang dibentuk oleh sudut roda dan sudut longitudinal kendaraan apabila dilihat dari atas. Terdapat 2 jenis toe yaitu toe in dan toe out [8].

Kingpin adalah sudut terhadap garis vertikal dan bisa dilihat dari depan kendaraan yang dapat menimbulkan jarak offset semakin kecil. Fungsi kingpin inclination adalah menaikkan body kendaraan saat roda dikemudikan [9].

Scrub radius merupakan jarak antara garis yang melalui kingpin dan garis tengah pada roda pada titik kontak pada permukaan jalan [9].

Caster trail adalah jarak antara garis pusat kontak roda dan kingpin dengan tanah jika dilihat dari samping [9].

Tread change adalah keadaan dimana tread pada roda mengalami perubahan disaat roda melakukan peregang.

Side view swing arm merupakan garis dari instant center langsung menuju komponen suspensi jika dilihat dari samping [10].

Front view swing arm merupakan garis dari instant center langsung menuju komponen suspensi jika dilihat dari depan [10].

Lateral force deflection merupakan Gaya inersia mobil menghasilkan gaya sentrifugal atau gaya lateral yang mendorong roda ke arah luar roda yang mengakibatkan terjadinya Lateral deflection [11].

Lateral force steer adalah steer roda akibat gaya lateral paralel terhadap tambalan ban [11].

Lateral force camber adalah Camber pada roda akibat gaya lateral paralel terhadap tambalan ban [9].

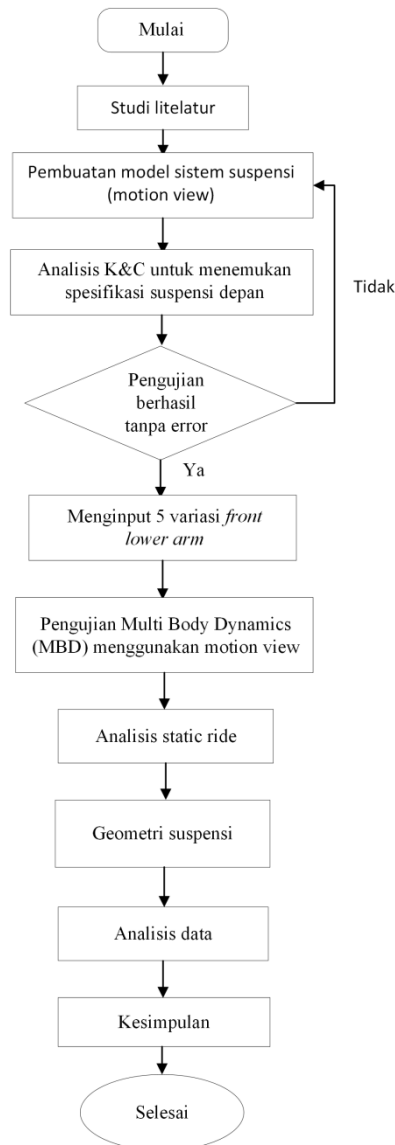
Lateral stiffness adalah rasio dari gaya yang bekerja pada ban dalam arah lateral kepada lateral deformation [12].

Fore-AFT stiffness sangat penting dalam analisis ban dikarenakan berkontribusi terhadap carcass [11]

Vertical stiffness adalah seberapa baik roda menahan kelenturan dan deformasi dari beban. [13].

2.2 Diagram Alir

Pada penelitian ini terdapat langkah-langkah permodelan suspensi *double wishbone* dan simulasi dengan pengujian static ride yang mengacu pada diagram alir Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

2.3 Perancangan Model Kendaraan

Model kendaraan yang dipakai dalam penelitian ini adalah mobil Kijang Innova generasi pertama seperti pada Gambar 2. Perancangan desain model kendaraan menggunakan Altair *Motion View* 2019 dengan menggunakan pendekatan dari desain aslinya. Pada pengujian ini, variasi desain dimensi lower control arm dibuat 5 model, yang modifikasinya dibedakan pada jarak antar bushing yang berada pada lengan lower control arm. Untuk data variasi kendaraan bisa dilihat di Tabel 1.



Gambar 2. Kijang Innova generasi pertama

Tabel 1. Variasi Model Pengujian

Model	Front					
	Front bush			Rear bush		
	X	Y	Z	X	Y	Z
I	932,15	-196,3	944,64	1270,25	-286,64	923,5
II	952,15	-196,3	944,64	1270,25	-286,64	943,5
III	932,15	-216,3	944,64	1270,25	-306,64	923,5
IV	912,15	-196,3	944,64	1270,25	-286,64	903,5
V	932,15	-176,3	944,64	1270,25	-266,64	923,5

2.4 Tahapan Simulasi

Tahapan simulasi yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menentukan model pengujian dengan memilih tipe suspensi yang diinginkan beserta konfigurasi penggerakannya
2. Memilih jenis pengujian Kinematic & compience untuk mendapatkan spesifikasi geometri mobil
3. Setelah tidak ada error pada tahap 2 maka dilanjutkan dengan memvariasikan 4 model lagi
4. Memilih pengujian static ride dengan memasukan parameter kendaraan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Kinematic & compience

Dari hasil analisis kinematic & compliance didapatkan hasil spesifikasi geometri suspensi depan suspensi *double wishbone* pada mobil Innova generasi pertama yang digunakan untuk pengujian pada suspensi depan yang dapat dilihat pada Tabel 2 dibawah.

Tabel 2. Spesifikasi suspensi depan .

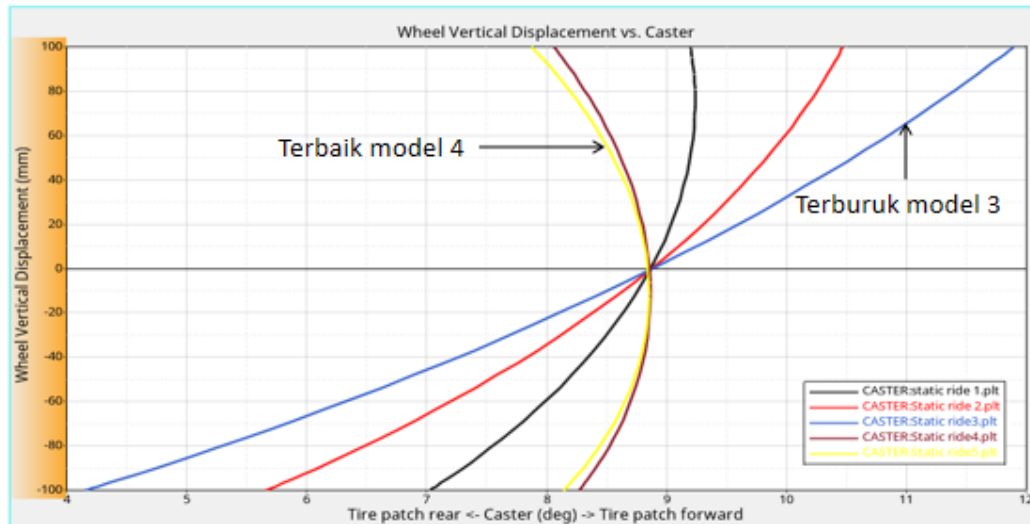
Factor Name	Units	Left	Right	Average
Wheel Center Displacement	mm	-0.00	-0.00	-0.00
Ground Reaction Force	N	3837.81	3837.64	3837.72
Toe	deg	-0.04	-0.03	-0.04
Steer Angle	deg	0.04	-0.03	0.0
Camber Angle	deg	-0.06	-0.06	-0.06
Caster	deg	8.87	8.87	8.87
Kingpin Inclination	deg	15.06	15.06	15.06
Scrub Radius	mm	16.96	16.96	16.96
Caster Trail	mm	48.40	48.39	48.40
Roll Angle	deg	0.00	0.00	0.00
Tread Width	mm	1500.82	1500.82	1500.82
Tread Change	mm/m	222.53	222.53	222.53
Track Width	mm	1500.18	1500.18	1500.18

Dari hasil analisis *kinematic and compliance* pada mobil innova generasi pertama bahwa *camber* pada pemodelan dari mobil innova generasi lama ini merupakan negatif *camber*. *Caster* pada pemodelan ini merupakan *caster* positif. *Toe* pada pemodelan ini merupakan *toe out*. *Scrub radius* pada pemodelan ini merupakan positif *scrub radius*. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa mobil innova generasi pertama ini mementingkan kenyamanan berkendara dan kestabilan disaat mobil berbelok sebagaimana mestinya mobil perkotaan yang mementingkan kenyamanan pengunanya.

3.2 Hasil dan Analisis Pengujian Static ride

a. Caster

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *caster* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *caster*. Pada Gambar 3 merupakan grafik pengujian *caster* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

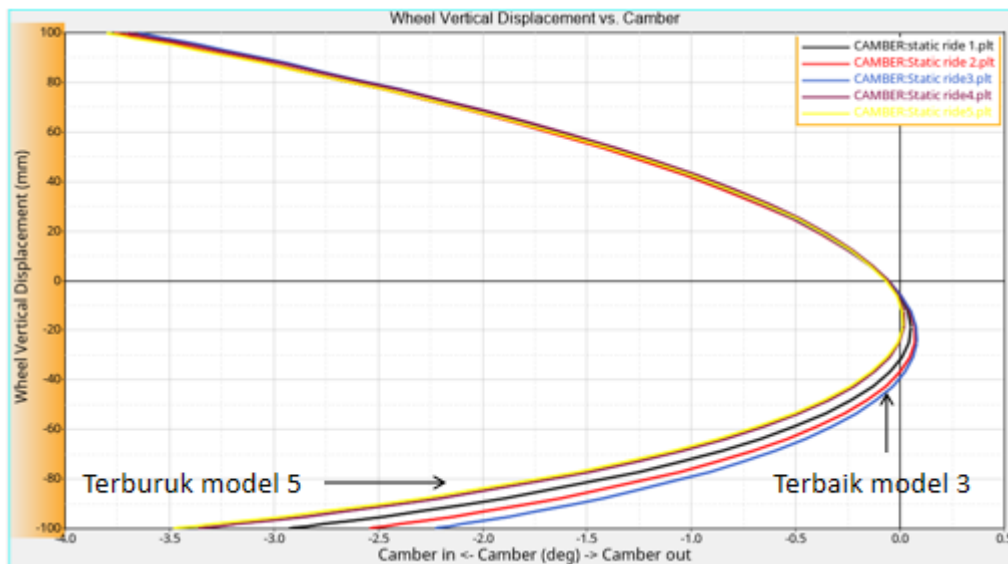


Gambar 3. Grafik analisis caster

Berdasarkan Gambar 3 dapat dilihat bahwa model terbaik adalah model 4 dikarenakan memiliki kisaran perubahan *caster* terkecil yaitu sebesar 0.81 derajat sehingga mengakibatkan kendali lebih stabil dan memiliki daya tahan ban yang tidak cepat aus. Sedangkan model terburuk adalah model 3 dikarenakan kisaran perubahan *caster* sangat besar sehingga mengakibatkan kendali tidak stabil dan ban akan cepat aus.

b. Camber

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *camber* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *camber*. Pada Gambar 4 merupakan grafik pengujian *camber* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

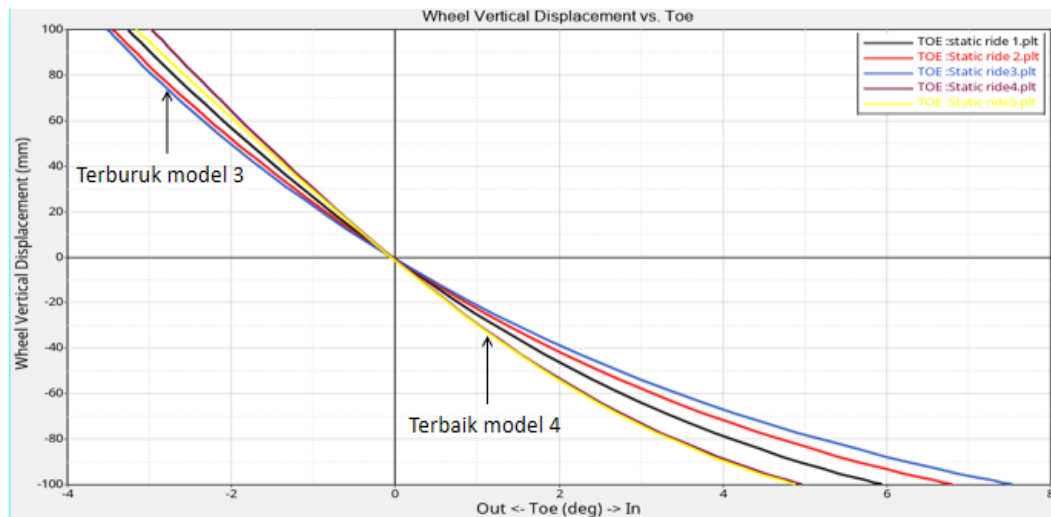


Gambar 4. Grafik analisis camber

Berdasarkan Gambar 4 dapat dilihat bahwa perubahan nilai sudut *camber* saat roda bergerak naik secara vertikal tidak ada perubahan yang besar dari pengujian yang dilakukan. Sedangkan saat roda bergerak turun menunjukkan bahwa pengujian 5 memiliki nilai *camber* terbesar sebesar -3,48 deg sehingga akan mengakibatkan stabilitas dan cengkraman ban pada saat roda berada pada saat turun memiliki nilai terkecil dari seluruh pengujian. Pada pengujian 3 yaitu memiliki *camber* terkecil sebesar -2,54 deg yang mengakibatkan stabilitas dan cengkraman ban memiliki nilai terbaik.

c. Toe

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *Toe* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *Toe*. Pada Gambar 5 merupakan grafik pengujian *toe* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

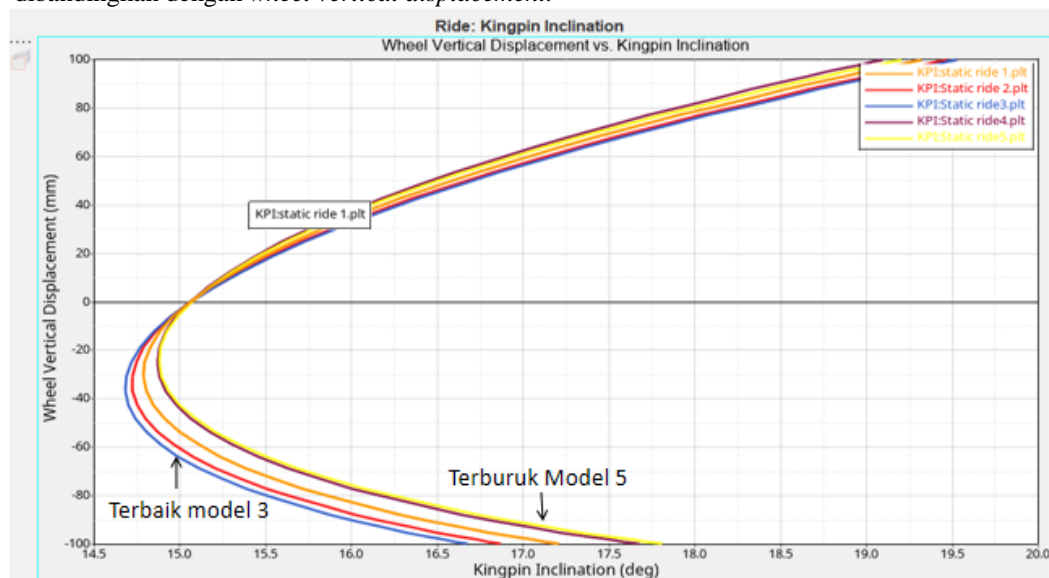


Gambar 5. Grafik analisis toe

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat bahwa pengujian 3 memiliki nilai *toe* terburuk dikarenakan kisaran perubahan nilai *toe* sangat besar hal ini mengakibatkan *lateral force* dari ban memiliki nilai terbesar dan mengakibatkan keausan ban sangat besar. Sedangkan pada pengujian 4 memiliki nilai *toe* terbaik dikarenakan nilai *toe* saat netral lebih kecil meskipun kisaran perubahan sedikit lebih kecil dari pengujian 5 sebesar 1,99 deg sehingga *lateral force* dari ban kecil dan mengakibatkan keausan ban kecil juga.

d. Kingpin

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *kingpin inclination* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *kingpin inclination*. Pada Gambar 6 merupakan grafik pengujian *kingpin inclination* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

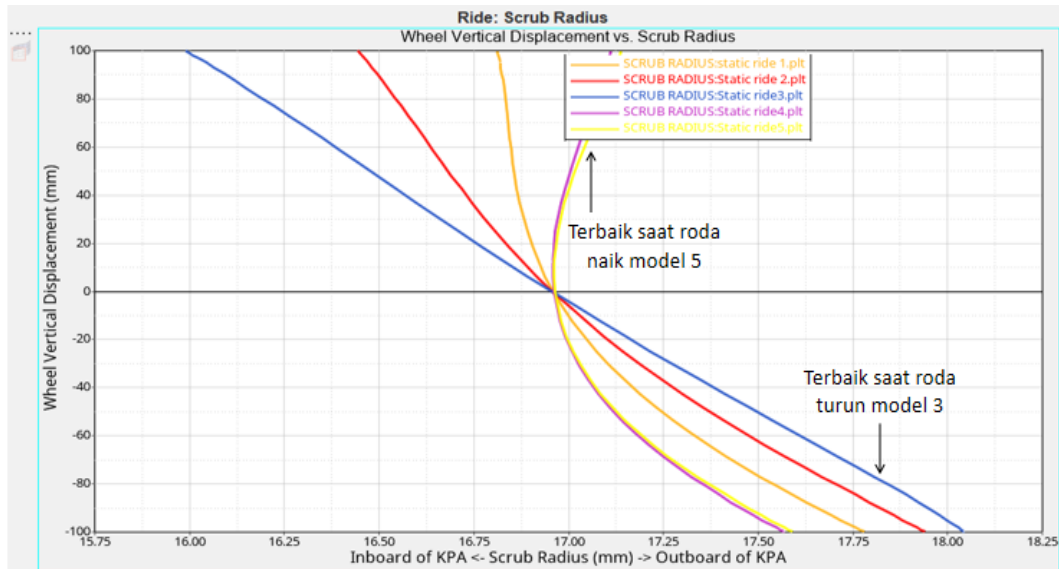


Gambar 6. Grafik analisis kingpin

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa perubahan nilai sudut *kingpin* saat roda bergerak naik secara vertikal tidak ada perubahan yang besar dari pengujian yang dilakukan. Sedangkan saat roda bergerak turun menunjukkan bahwa Pengujian 3 memiliki kisaran nilai sudut *kingpin* terbaik dikarenakan memiliki sudut terkecil yaitu 16,67 deg yang mengakibatkan *steering* yang lebih ringan. Sedangkan pengujian 5 yaitu memiliki kisaran nilai sudut *kingpin* terburuk dikarenakan nilai sudut *kingpin* lebih besar yaitu 17,81 deg sehingga menyebabkan *steering* lebih berat dibandingkan dengan pengujian lainnya

e. Scrub Radius

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *scrub radius* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *scrub radius*. Pada Gambar 7 merupakan grafik pengujian *scrub radius* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

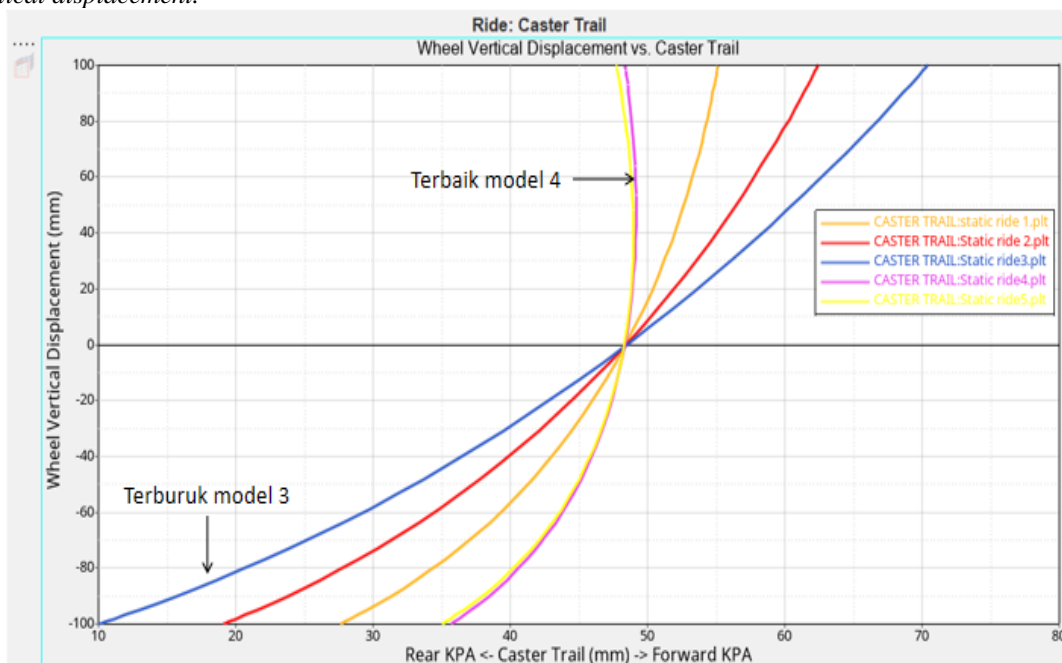


Gambar 7. Grafik analisis scrub radius

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa pada saat roda naik pengujian 5 memiliki nilai terbaik sebesar 17,14 mm sehingga *steering* lebih ringan saat roda naik. Sedangkan pada saat roda turun pengujian 3 memiliki nilai *scrub radius* terbaik sebesar 18,04 mm sehingga menyebabkan *steering* lebih ringan pada saat roda turun. Sedangkan nilai terburuk pada saat roda naik adalah pengujian 3 dan saat roda turun adalah pengujian 5 yang mengakibatkan *steering* lebih berat

f. Caster Trail

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *caster trail* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *caster trail*. Pada Gambar 8 merupakan grafik pengujian *caster trail* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

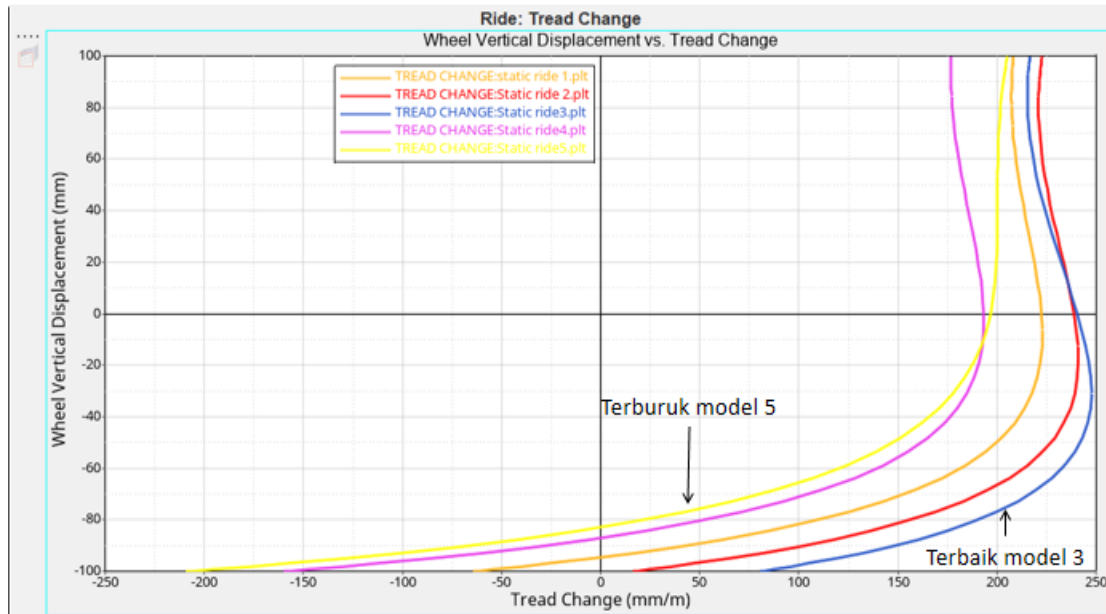


Gambar 8. Grafik analisis caster trail

Berdasarkan Gambar 8 dapat dilihat bahwa pada pengujian 4 memiliki kisaran nilai *caster trail* yang terbaik yaitu sebesar 13,49mm sehingga *steering* lebih stabil. Pengujian 3 memiliki kisaran nilai *caster trail* yang terburuk yaitu sebesar 60,42 mm sehingga *steering* tidak stabil

g. Tread Change

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *tread change* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *tread change*. Pada Gambar 9 merupakan grafik pengujian *tread change* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

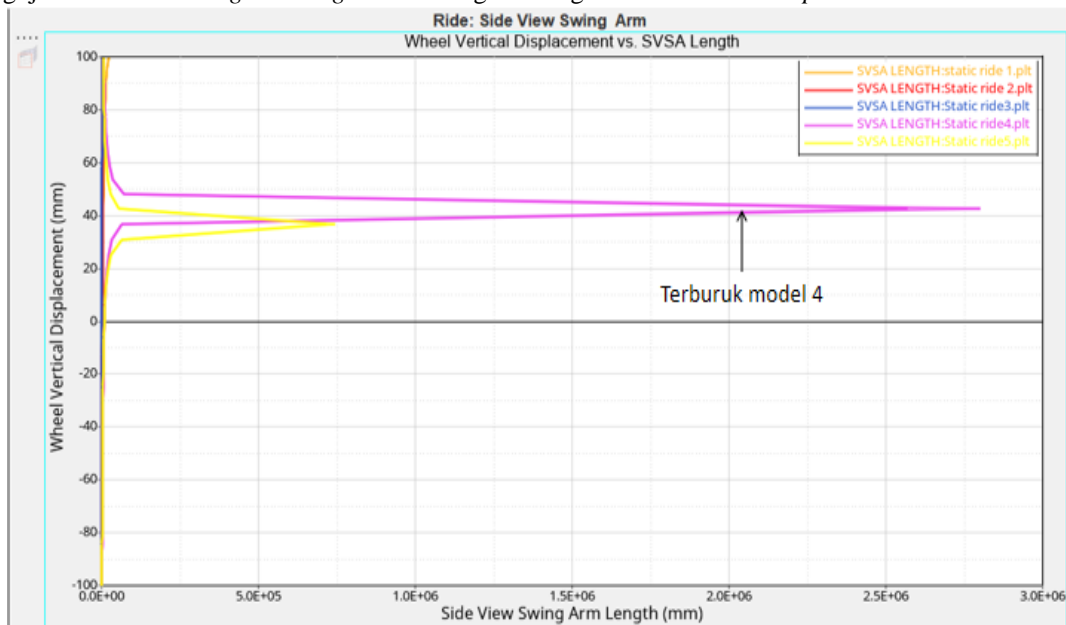


Gambar 9. Grafik analisis tread change

Berdasarkan Gambar 9 dapat dilihat bahwa pada ada pengujian pengujian 3 memiliki nilai *tread change* terbaik sehingga mengakibatkan cengkraman pada ban yang lebih kuat. Sedangkan pada pengujian 5 memiliki perubahan nilai *tread change* yang terburuk sehingga menyebabkan cengkraman yang kurang kuat.

h. Side View Swing Arm

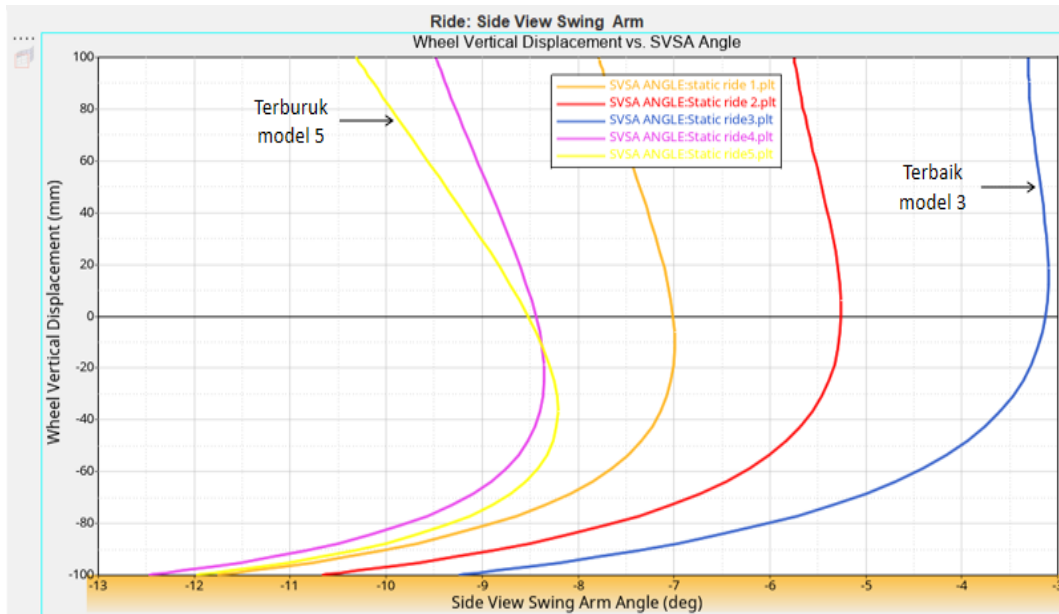
Berikut ini adalah hasil dari pengujian *side view swing arm length* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *side view swing arm length*. Pada Gambar 10 merupakan grafik pengujian *side view swing arm length* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.



Gambar 10. Grafik analisis SVSA length

Berdasarkan Gambar 10 dapat dilihat bahwa pada pengujian 4 memiliki nilai *side view swing arm length* terburuk dikarenakan nilai *side view swing arm length* sangat besar yaitu sebesar 23290mm sehingga menyebabkan *anti-dive* menjadi kecil. Sedangkan pada pengujian 3 memiliki nilai *side view swing arm length* yang terbaik dikarenakan nilai *side view swing arm length* kecil yaitu 3962 mm sehingga menyebabkan *anti-dive* menjadi besar

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *side view swing arm angle* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *side view swing arm angle*. Pada Gambar 11 merupakan grafik pengujian *side view swing arm angle* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

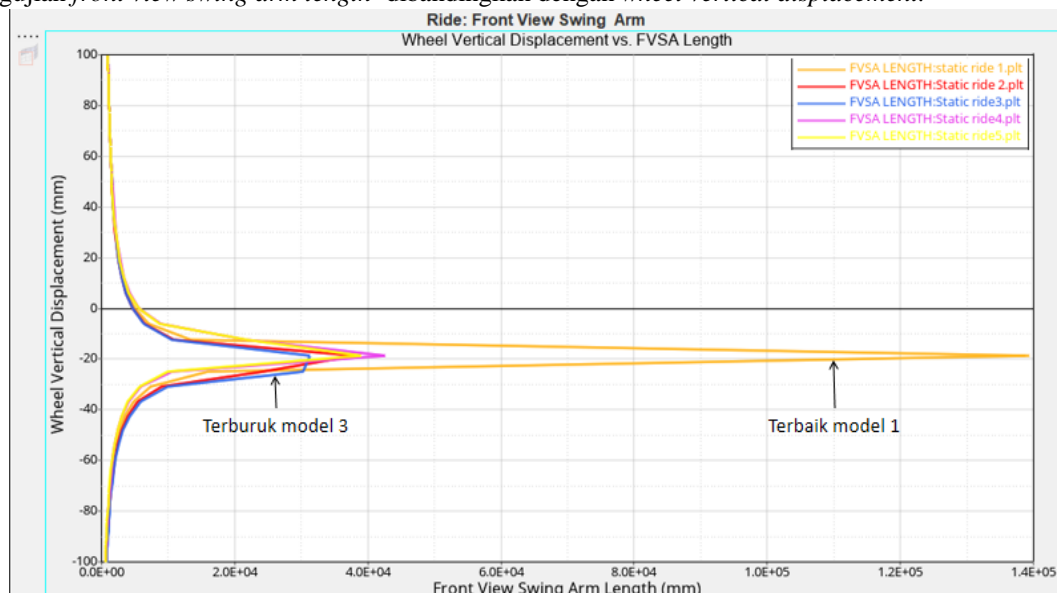


Gambar 11. Grafik analisis SVSA angle

Berdasarkan Gambar 11 dapat dilihat bahwa pada pengujian 3 memiliki nilai *side view swing arm angle* yang terbaik sehingga menyebabkan nilai *anti-dive* lebih besar sehingga kendaraan tidak terlalu menukik saat pengereman pada saat roda naik dan turun. Sedangkan pada pengujian 4 memiliki nilai *side view swing arm angle* terburuk sehingga mengurangi nilai *anti-dive* yang membuat kendaraan lebih menukik disaat melakukan pengereman pada saat roda naik dan turun dibandingkan dengan pengujian lainnya.

i. Front View Swing Arm

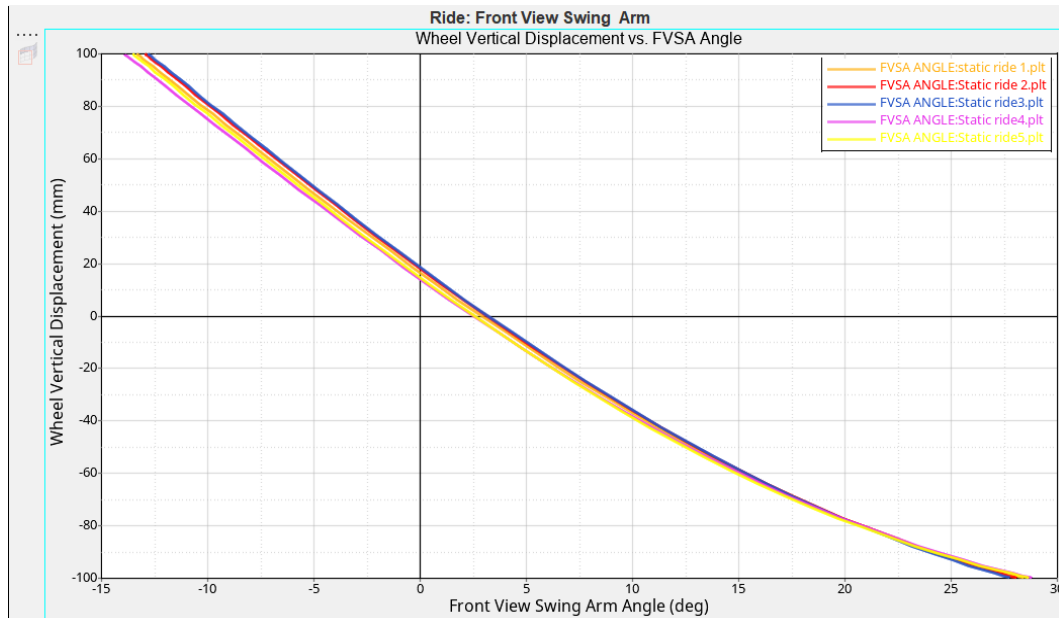
Berikut ini adalah hasil dari pengujian *front view swing arm length* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *front view swing arm length*. Pada Gambar 12 merupakan grafik pengujian *front view swing arm length* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.



Gambar 12. Grafik analisis FVSA length

Berdasarkan Gambar 12 dapat dilihat bahwa *front view swing arm length* terbaik adalah pengujian 1 dengan panjang *front view swing arm* sebesar 138800 mm sehingga mengakibatkan *chamber change rate* lebih kecil. Sedangkan model 3 adalah yang memiliki nilai panjang *front view swing arm* terburuk sehingga mengakibatkan *chamber change rate* lebih besar

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *front view swing arm angle* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *front view swing arm angle*. Pada Gambar 13 merupakan grafik pengujian *front view swing arm angle* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

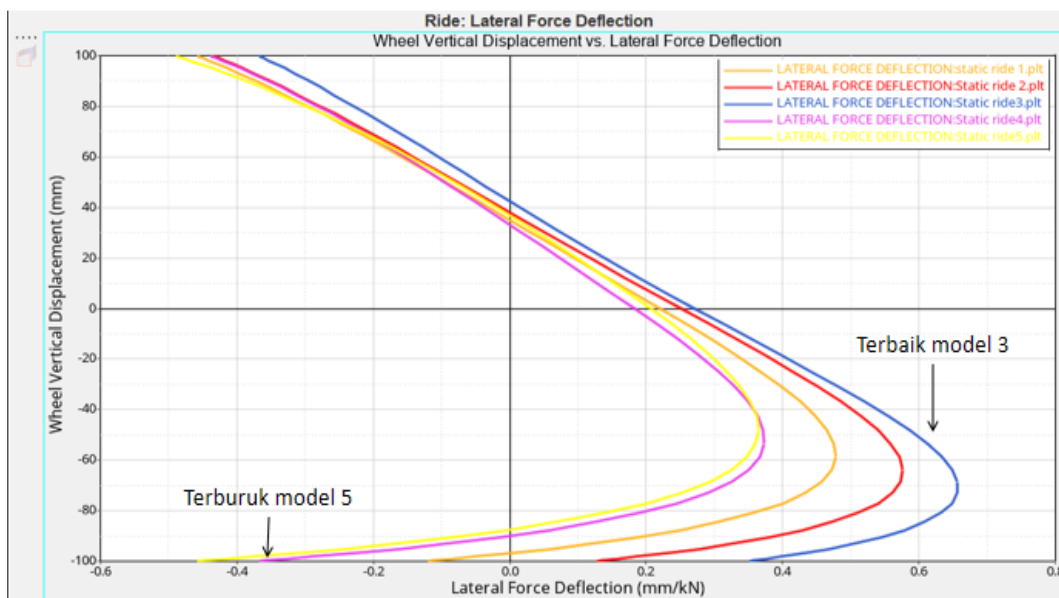


Gambar 13. Grafik analisis FVSA angle

Berdasarkan Gambar 13 dapat dilihat bahwa tidak ada perbedaan terlalu jauh antar pengujian, saat roda keatas akan mengakibatkan steering susah dikendalikan sedangkan saat roda kebawah akan memberikan efek ban yang bergoyang saat melakukan akselerasi

j. Lateral Force Deflection

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *lateral force deflection* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *lateral force deflection*. Pada Gambar 14 merupakan grafik pengujian *lateral force deflection* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

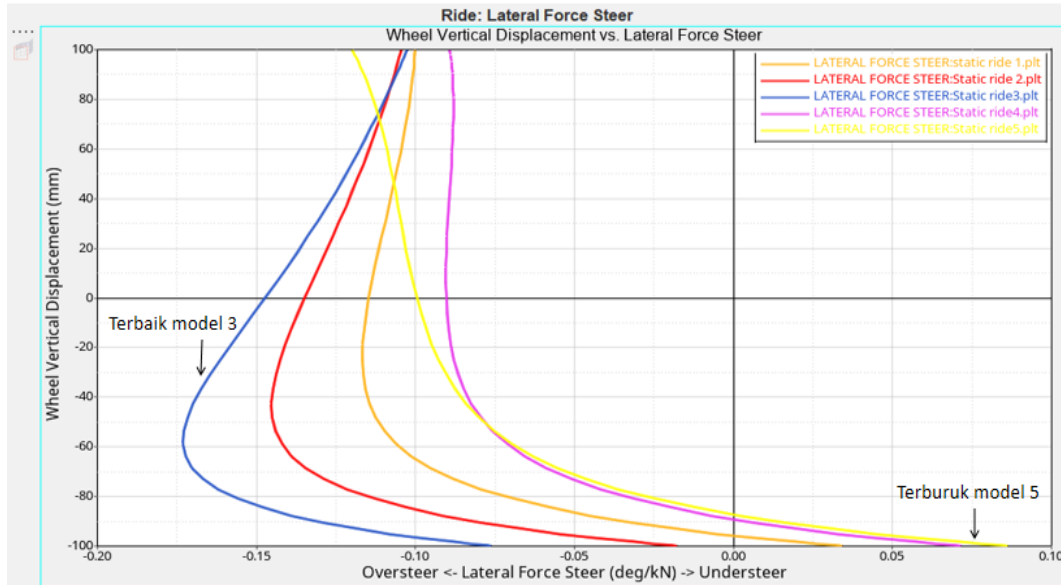


Gambar 14. Grafik analisis lateral force deflection

Berdasarkan Gambar 14 dapat dilihat bahwa pada pengujian 3 memiliki perubahan *lateral force deflection* yang terkecil sehingga lebih tidak mudah tergelincir. Sedangkan pengujian 5 memiliki perubahan nilai *lateral force deflection* terbesar sehingga menimbulkan side slip yang terbesar sehingga lebih mudah tergelincir

k. Lateral Force Steer

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *lateral force steer* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *lateral force steer*. Pada Gambar 15 merupakan grafik pengujian *lateral force steer* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

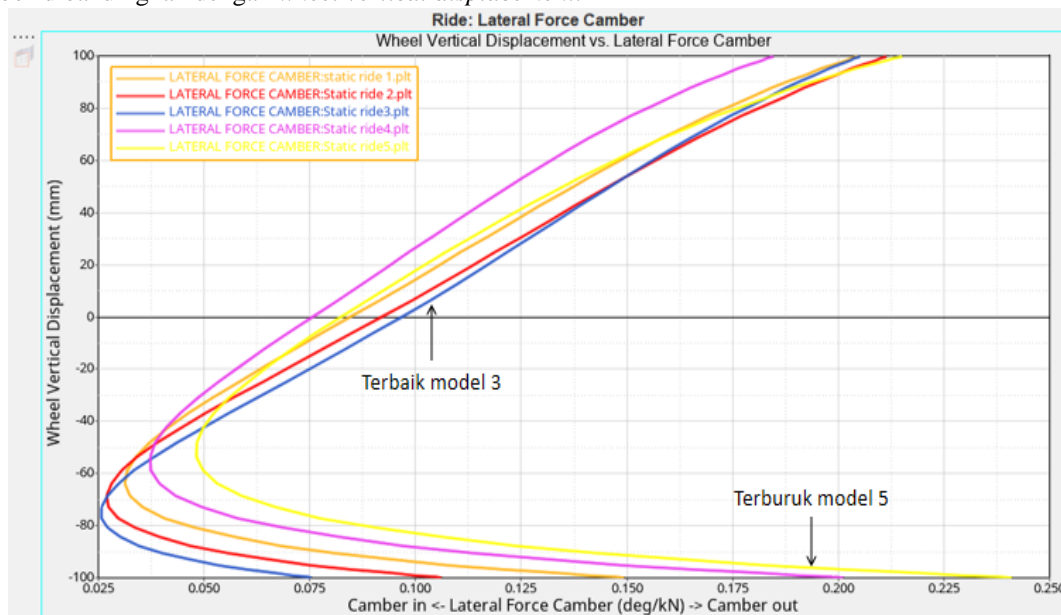


Gambar 15. Grafik analisis lateral force steer

Berdasarkan Gambar 15 dapat dilihat bahwa pada pengujian 3 memiliki nilai *lateral force steer* terbaik dikarenakan nilai *lateral force steer* terkecil dari seluruh pengujian sehingga steering terasa lebih ringan. Pengujian 5 memiliki nilai *lateral force steer* terburuk sehingga mengakibatkan *steering effort* yang besar sehingga steering terasa berat

1. Lateral Force Camber

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *lateral force camber* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *lateral force camber*. Pada Gambar 16 merupakan grafik pengujian *lateral force camber* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

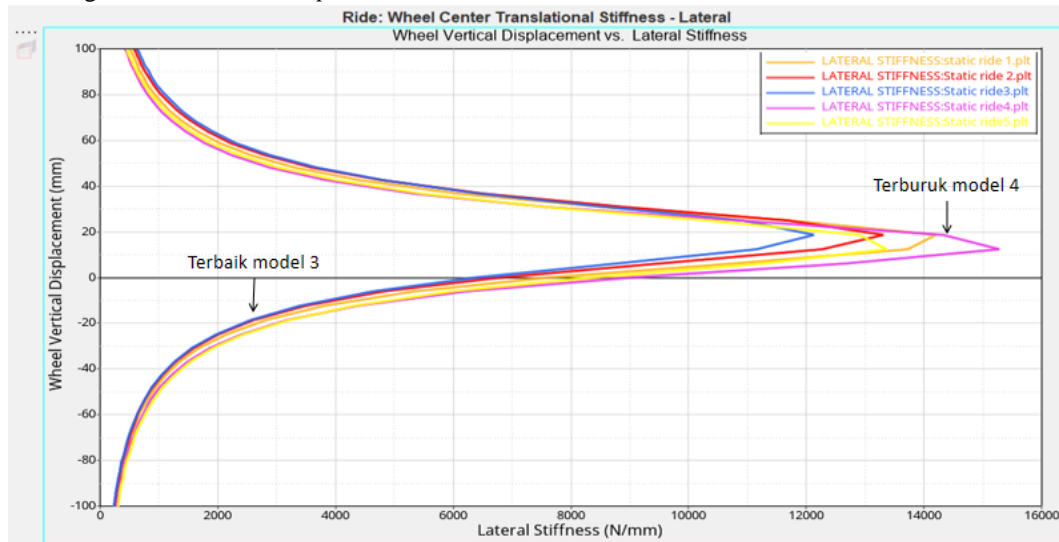


Gambar 16. Grafik analisis lateral force camber

Berdasarkan Gambar 16 dapat dilihat bahwa pada pengujian 3 yaitu pada saat *lower control arm* lebih pendek memiliki nilai *lateral force camber* yang terbaik dikarenakan nilai *lateral force camber* kecil sehingga roda tidak terlalu menggelinding kekiri. Sedangkan pada pengujian 5 nilai *lateral force camber* yang besar sehingga akan mengakibatkan roda akan lebih menggelinding ke kiri dikarenakan perubahan *lateral force camber* yang terlalu positif.

m. Lateral Stiffness

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *lateral stiffness* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *lateral stiffness*. Pada Gambar 17 merupakan grafik pengujian *lateral stiffness* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

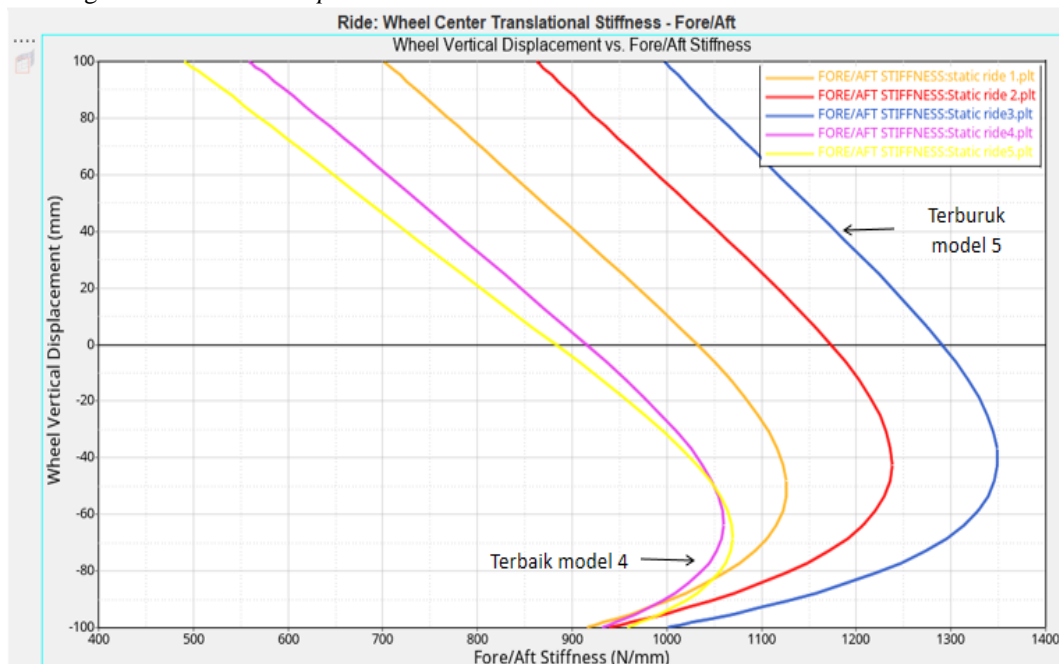


Gambar 17. Grafik analisis lateral stiffness

Berdasarkan Gambar 17 dapat dilihat bahwa Pada pengujian 3 yaitu pada saat *lower control arm* lebih pendek memiliki nilai *lateral stiffness* terbaik sebesar 12140 N/mm sehingga grip pada jalan lebih besar sehingga tidak mudah tergelincir. Sedangkan pengujian 4 memiliki nilai *lateral stiffness* terburuk yaitu sebesar 15290 N/mm sehingga akan mengakibatkan grip pada jalan tidak kencang sehingga mudah tergelincir.

n. Fore/aft stiffness

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *Fore/Aft stiffness* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *Fore/Aft stiffness*. Pada Gambar 18 merupakan grafik pengujian *Fore/Aft stiffness* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.

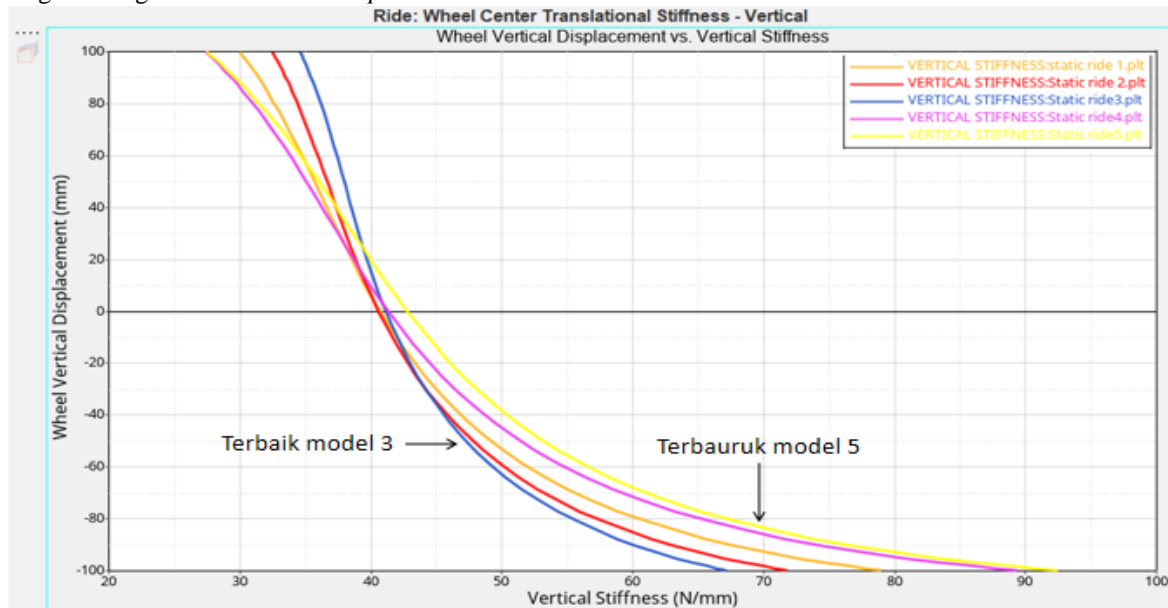


Gambar 18. grafik analisis Fore/aft stiffness

Berdasarkan Gambar 18 dapat dilihat bahwa pada pengujian 4 memiliki nilai *Fore/Aft stiffness* yang terbaik dikarenakan nilai *Fore/Aft stiffness* memiliki nilai terkecil sebesar 1060 N/mm sehingga mengakibatkan keausan ban yang kecil. Sedangkan pengujian 3 memiliki nilai *Fore/Aft stiffness* yang terburuk sehingga mengakibatkan keausan ban yang besar

o. Vertical Stiffness

Berikut ini adalah hasil dari pengujian *vertical stiffness* pada variasi *lower control arm* berupa perbandingan antara *wheel vertical displacement* dengan *vertical stiffness*. Pada Gambar 19 merupakan grafik pengujian *vertical stiffness* dibandingkan dengan *wheel vertical displacement*.



Gambar 19. Grafik analisis vertical stiffness

Berdasarkan Gambar 19 dapat dilihat bahwa pada pengujian 3 memiliki nilai perubahan *vertical stiffness* yang terbaik sehingga stress pada ban menjadi kecil. Sedangkan pada pengujian 5 yaitu saat *lower control arm* lebih panjang memiliki kisaran perubahan nilai *vertical stiffness* terburuk sehingga stress pada ban besar

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan simulasi pengaruh *front lower control arm* dengan suspensi *double wishbone terhadap static ride* dengan menggunakan model kendaraan yang telah disediakan oleh Altair Motionview mempengaruhi geometri suspensi yaitu *caster, camber, toe, kingpin, caster trail, tread change, SVSA, FVSA, lateral force deflection, lateral force steer, lateral force camber, lateral stiffness, fore/aft stiffness, dan vertical stiffness*. Dengan menggunakan 5 variasi pemodelan dengan mengubah posisi lengan *lower control arm* untuk mendapatkan geometri yang ideal, pada model 3 memiliki kelebihan cengkraman ban yang baik saat roda turun, tidak mudah tergelincir, *stress* pada ban kecil, *anti-dive* yang besar, dan ban tidak terlalu menggelinding ke kiri. Sedangkan kelemahan model 3 adalah ban cepat aus, tidak stabil, *steer* saat roda naik menjadi berat *camber change rate* yang besar. Pada model 5 memiliki kelebihan lebih stabil, ban tidak cepat aus, saat roda naik *steer* menjadi ringan, steering yang lebih stabil, *anti-dive* yang tidak terlalu kecil. Sedangkan kelemahan model 5 adalah cengkraman yang lebih buruk, *steer* berat saat roda turun, lebih mudah tergelincir daripada pengujian lainnya, roda lebih menggelinding kekiri, *stress* pada ban besar. Model terbaik pada variasi adalah model 5 yaitu saat *lower control arm* lebih panjang dikarenakan mobil Innova dengan suspensi *double wishbone* dan juga termasuk RWD lebih mengutamakan kestabilan kendaraan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Vignesh, B. S., Ahmed, S., Chandan, V., & Shrivastava, P. K. (2019). Double Wishbone Suspension System
- [2] Singh, H. (2019). Formability Analysis of Front Lower Control Arm Using Hyper Form.
- [3] Ganta, A., Bhandari, S., Jotautienė, E., & Lukoševičius, V. (2020). Static ride analysis on a virtual flexible lower control arm of a double wishbone suspension to determine displacements, stresses and strains.
- [4] Chepkasov, S., Markin, G., & Akulova, A. (2016). Suspension Kinematics Study of the "Formula SAE" Sports Car. *Procedia Engineering*, 150, 1280-1286.
- [5] Balkwill, J. (2017). *Performance vehicle dynamics: engineering and applications*. Butterworth-Heinemann..
- [6] January, D. B. (1985). *Steering Geometry and Caster Measurement*. *SAE Transactions*, 176-185.
- [7] Manaf, M. Z. A., Latif, M. F. A., Razak, M. S. A., Hassan, M. Z., & Rosley, M. I. F. (2016). Suspension kinematic analysis of UTeM's FV Malaysia electric vehicle racing car. *Int. Rev. Mech. Eng*, 10(4), 294-300.

- [8] Jing, L., Wu, L., Li, X., & Zhang, Y. (2017). Study on kinematic and compliance test of suspension. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 231, No. 1, p. 012186). IOP Publishing.
- [9] Reimpell, J., Stoll, H., & Betzler, J. (2001). *The automotive chassis: engineering principles*. Elsevier.
- [10] Jibril, M. (2021). Design and Kinematics Analysis of Suspension System for ABAY Vehicle. Report and Opinion Journal, *13*(10).
- [11] Pacejka, H. (2005). *Tire and vehicle dynamics*. Elsevier.
- [12] Dudziak, M., Lewandowski, A., & Waluś, K. J. (2020). Static tests the stiffness of car tires. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 776, No. 1, p. 012071). IOP Publishing.
- [13] Sim, J., Hong, J., Cho, I., & Lee, J. (2021). Analysis of vertical stiffness characteristics based on spoke shape of non-pneumatic tire. *Applied Sciences*, *11*(5), 2369