

PERANCANGAN SISTEM SUSPENSI INDEPENDEN *DOUBLE WISHBONE* UNTUK TRANSPORTASI BURUH TANI DI PERKEBUNAN

*Ivan Dwi Hascaryo Ardynugraha¹, Toni Prahasto², Achmad Widodo²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*Email: ivan.hascardy7@gmail.com

Abstrak

Transportasi bus atau truk adalah pilihan yang umum untuk para buruh agar dapat sampai ke tujuan di berbagai titik lahan perkebunan yang luas. Selain dapat menampung buruh dalam jumlah banyak supaya efisien, kenyamanan dalam perjalanan juga sangat penting untuk para buruh tani. Untuk meningkatkan kenyamanan pada penumpang maka dibutuhkan sistem suspensi yang tepat agar dapat melalui jalan yang tidak rata seperti pada jalan perkebunan. Sistem suspensi adalah sistem mekanis pegas atau peredam kejut yang menghubungkan roda dan gandar ke sasis kendaraan beroda. Sistem suspensi memiliki banyak varian yang dapat dipilih, salah satunya adalah sistem suspensi independen *double wishbone*. Dalam mobil, suspensi *double wishbone* adalah desain suspensi independen yang menggunakan dua lengan berbentuk *wishbone* (kadang-kadang paralel) untuk menemukan roda. Setiap *wishbone* atau lengan memiliki dua titik pemasangan ke sasis dan satu sambungan di buku jari. Pada penelitian ini dilakukan guna untuk meneliti sistem suspensi *double wishbone* yang dipasang pada kendaraan bus untuk transportasi lahan perkebunan. Modelling dan analisa gerak pada sistem suspensi dan chassis pada penelitian ini menggunakan software *solidwork 2018*. Dari hasil yang didapatkan bahwa rancangan sistem suspensi *double wishbone* ini memiliki percepatan angular yang rendah pada upper arm dan lower arm dan camber angle memiliki derajat negatif.

Kata kunci : CAD; CAE; CFD; *double wishbone*; suspension system

Abstract

Bus or truck transportation is a common option for farm workers to get to their destinations at various points on large plantations. Apart from being able to accommodate a large number of workers in order to be efficient, traveling comfort is also very important for farm workers. To increase the comfort of the passengers, the right suspension system is needed so that they can pass through uneven roads such as plantation roads. A suspension system is a mechanical system of springs or shock absorbers that connects the wheels and axles to the chassis of a wheeled vehicle. The suspension system has many variants to choose from, one of which is the double wishbone independent suspension system. In automobiles, double wishbone suspension is an independent suspension design that uses two wishbone-shaped arms (sometimes parallel) to locate the wheels. Each wishbone or arm has two mounting points to the chassis and one connection at the knuckle. This study was conducted to examine the double wishbone suspension system installed on bus vehicles for transportation of plantation land. Modeling and analysis of motion on the suspension system and chassis in this study using solidwork 2018 software. From the results obtained that the design of the double wishbone suspension system has a low angular acceleration on the upper and lower arms and the camber angle has a negative degree.

Keyword: CAD; CAE; CFD; *double wishbone*; suspension system

1. Pendahuluan

Industri agrikultur menjadi hal yang penting dalam kebutuhan konsumsi manusia. Untuk Indonesia sendiri, adalah salah satu negara agraria yang mampu menghasilkan produk pertanian hingga 14,43% sampai 15% dari nilai seluruh produk domestik bruto atau PDM. Untuk itu, sektor agrikultur yang berada di Indonesia menjadi salah satu kunci kekuatan ekonomi [1]. Didalam industri agrikultur memiliki faktor pendukung yang membuat industri agrikultur terus maju dan berkembang, salah satunya adalah para buruh.

Sumber daya manusia menjadi hal yang paling penting dalam industri agrikultur agar dapat berjalannya aktifitas dalam industri. Agar sumber daya manusianya dapat melaksanakan tugasnya, dibutuhkan fasilitas yang dapat menunjang para buruh agar dapat bekerja lebih baik. Fasilitas yang dibutuhkan salah satunya adalah transportasi para buruh.

Transportasi menjadi hal yang penting untuk para buruh untuk dapat sampai ke tujuan di berbagai titik lahan pertanian yang luas. Maka dari itu dibutuhkan kendaraan yang layak untuk para buruh tani. Selain dapat menampung buruh dalam jumlah banyak supaya efisien, kenyamanan dalam perjalanan juga sangat penting untuk para buruh tani. Karena dengan kenyamanan yang diberikan kepada buruh tani, produktivitas dalam industry agrikultur dapat meningkat, para buruh

tani dapat memberikan yang terbaik untuk pekerjaannya.

Medan jalan yang dilalui oleh buruh tani tidak seperti perkotaan yang halus, terdapat banyak sekali guncangan akibat tidak rata jalan pada ladang pada pertanian. Bus merupakan transportasi umum yang dapat diandalkan karena dapat menampung penumpang dalam jumlah yang banyak dalam 1 perjalanan. Untuk meningkatkan kenyamanan pada penumpang maka dibutuhkan sistem suspensi yang tepat agar dapat melalui jalan yang tidak rata. Sistem suspensi adalah sistem mekanis pegas atau peredam kejut yang menghubungkan roda dan gandar ke sasis kendaraan beroda.

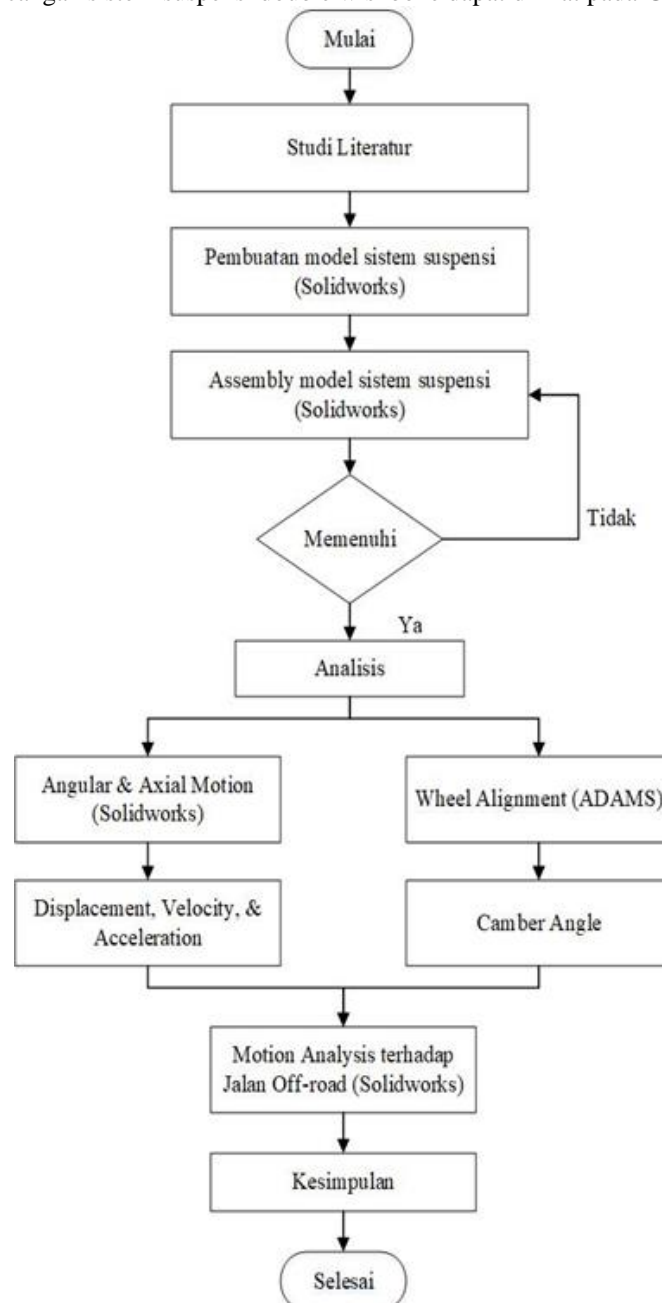
Sistem suspensi memiliki banyak varian yang dapat dipilih, salah satunya adalah sistem suspensi double wishbone. Dalam mobil, suspensi double wishbone adalah desain suspensi independen yang menggunakan dua lengan berbentuk wishbone (kadang-kadang paralel) untuk menemukannya roda. Setiap wishbone atau lengan memiliki dua titik pemasangan ke sasis dan satu sambungan di buku jari.

Pada penelitian ini dilakukan guna untuk meneliti sistem suspensi double wishbone yang dipasang pada kendaraan bus untuk transportasi lahan pertanian. Modelling dan analisa gerak pada sistem suspensi dan chassis pada penelitian menggunakan software solidwork 2018.

2. Metodologi Penelitian

2.1 Diagram Alir

Diagram alir dari perancangan sistem suspensi double wishbone dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir

2.2 Asumsi Kendaraan

Kendaraan yang akan dirancang untuk keseluruhan kendaraan mengambil referensi dari bus off road torsus praetorian, kendaraan berat MAN TGM yang dikembangkan untuk mengangkut awak pekerja di perusahaan tambang ataupun kebutuhan lain. Sedangkan untuk casis sendiri saya mengambil referensi dari texas specification untuk membuat kendaraan bus casis dengan kapasitas penumpang 20 orang. Dari tabel 1 yang diberikan terdapat beberapa kendaraan yang dapat dipilih, untuk rancangan kali ini saya menggunakan Ford super duty cutaway yang memiliki *wheelbase* 401.32cm, panjang casis 6537.96cm, trek depan 1762.76cm, trek belakang 1973.58cm, dan roda dengan ukuran LT225/75R16E.

Tabel 1. Tabel Kendaraan 20 penumpang ford super duty cutaway

Spesifikasi kapasitas 20	Ford Super Duty Cutaway
GVWR, kg.	6372.97
GAWR, kg. depan	2086.52
GAWR, kg. belakang	4286.44
Kapasitas gandar depan, kg	2086.52
Kapasitas gandar belakang, kg	4286.44
<i>Wheelbase</i> , cm.	401.32
Panjang casis, cm	6537.96
Trek depan, cm.	1762.76
Trek belakang, cm	1973.58
Transmisi: otomatis	E4OD
Ukuran ban	LT225/75R16E

2.3 Casis

Kemudian setelah memiliki referensi dimensi yang akan digunakan, bentuk casis disesuaikan dengan kebutuhan dan sistem kendaraan yang akan digunakan. untuk jenis kendaraan akan dibuat kendaraan bus elektrik, Jenis roda kemudi rak & pinion, kendaraan yang akan dirancang berpengerak roda empat, kapasitas penumpang 20 orang, suspensi roda depan dan belakang menggunakan sistem suspensi independen *double wishbone*, dan model peredam kejut berupa damper & pegas. Tabel spesifikasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi casis kendaraan.

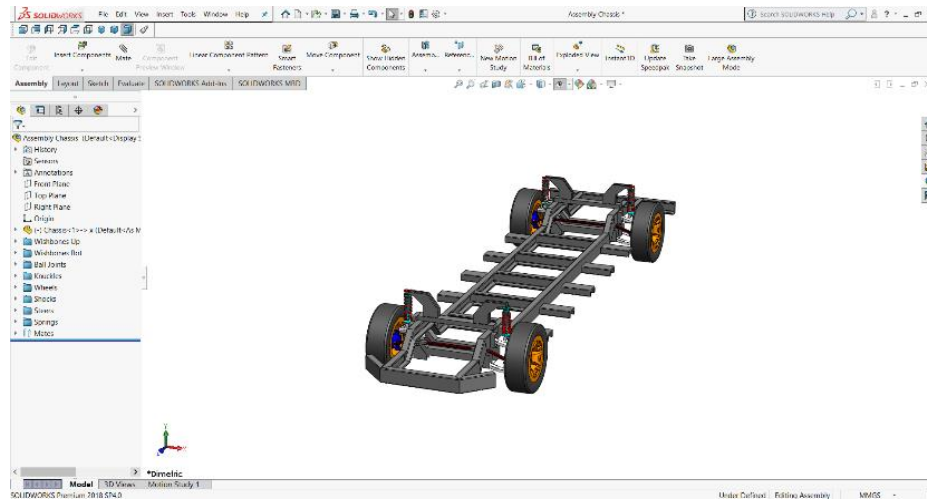
Spesifikasi	
Jenis kendaraan	Electric Vehicle Bus
Jenis roda kemudi	Rak & pinion
Jenis penggerak	Penggerak 4 roda
Kapasitas penumpang	20
Suspensi depan	<i>Double wishbone</i>
Suspensi belakang	<i>Double wishbone</i>
Peredam kejut	Pegas & damper

2.4 Sistem Suspensi

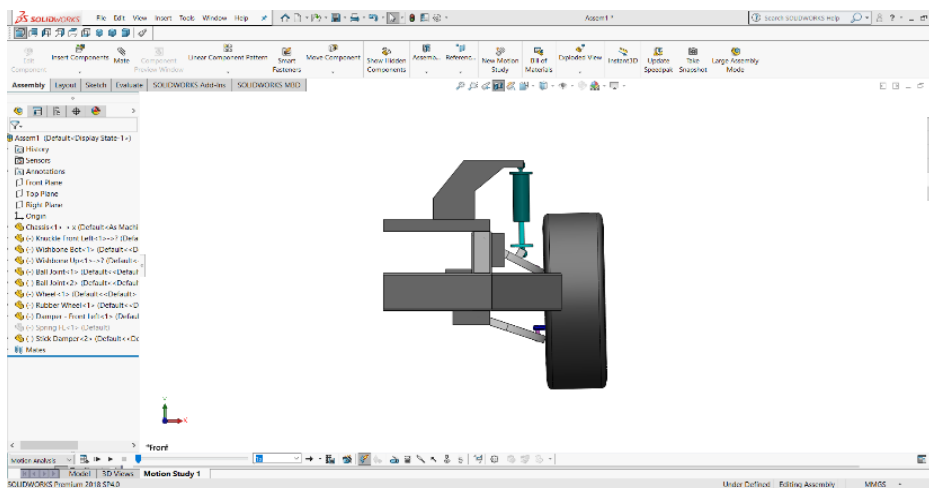
Sistem suspensi yang akan dibuat adalah sistem suspensi independen *double wishbone* dengan peredam kejut yang terletak diatas lengan atas *double wishbone*. Kondisi yang diinginkan dan optimal adalah ketika lengan atas lebih pendek dari lengan bawah dan sudut *camber* negatif.

2.5 Pra Simulasi Angular & Axial Motion Analysis

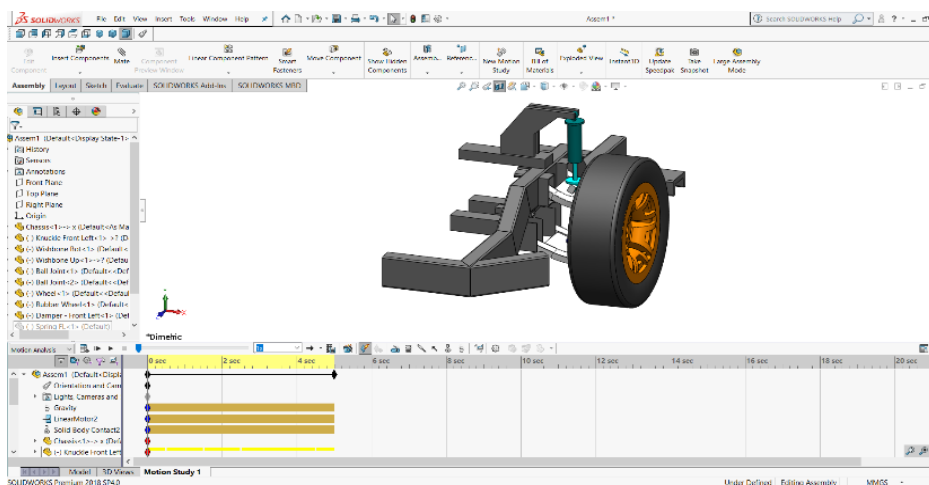
Analisis sistem suspensi independen *double wishbone* untuk mengetahui gerak angular dan aksial dilakukan pada *software solidworks 2018*, pra simulasi ini dimulai dengan menginput setiap bagian yang dibutuhkan untuk digabung menjadi *assembly* yang utuh seperti pada Gambar 2, kemudian di import geometrinya ke bagian *motion analysis*. Di *motion analysis* kemudian mengambil kinematika untuk awalan seperti yang terlihat pada Gambar 3, dan memasukan properti gerak pada analisis seperti yang terlihat pada Gambar 4.



Gambar 2. Input Geometry

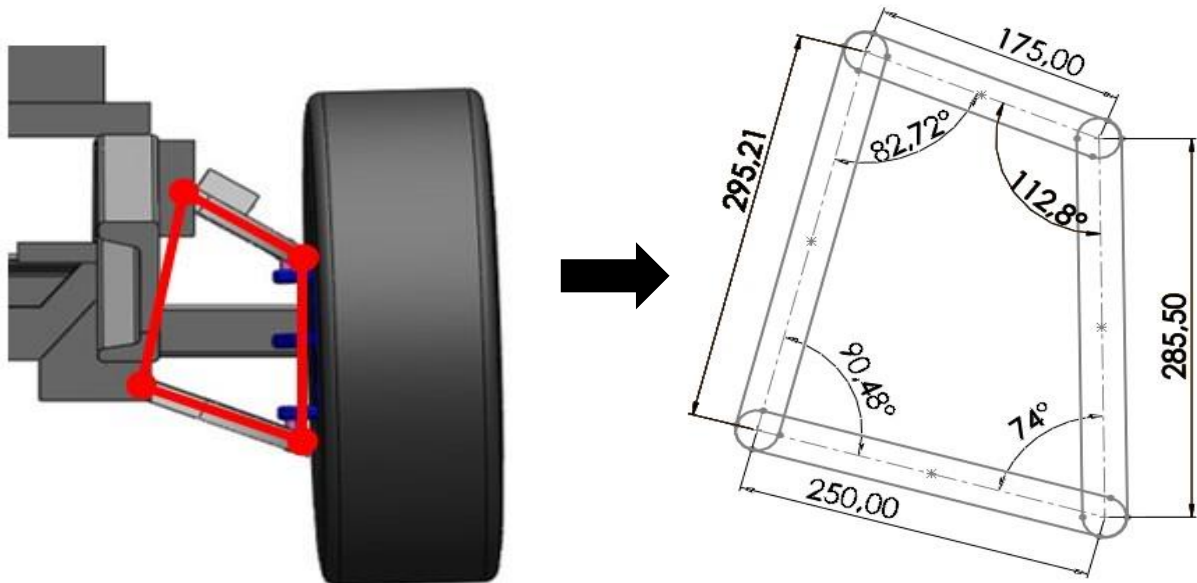


Gambar 3. Pengambilan bentuk kinematika awal



Gambar 4. Input properti analisa

lengan atas, lengan bawah, dan *knuckle* length berturut-turut 175mm, 250mm, dan 286,5m. Dengan rangkaian tersebut kemudian membentuk setiap derajat sudutnya yang di atur berdasarkan panjang strut saat posisi *steady* dengan jarak 100mm. Kinematika sistem suspensi diambil dari pandangan depan pada model sistem suspensi yang telah dibuat pada solidworks 2018 yang dapat dilihat pada Gambar 5. Dimensi dari kinematika awalan sistem suspensi dapat dilihat pada tabel 3.

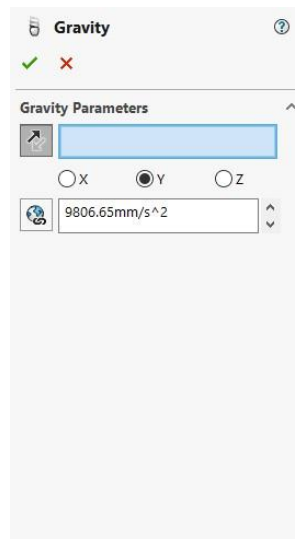


Gambar 5. Initial Kinematic Layout

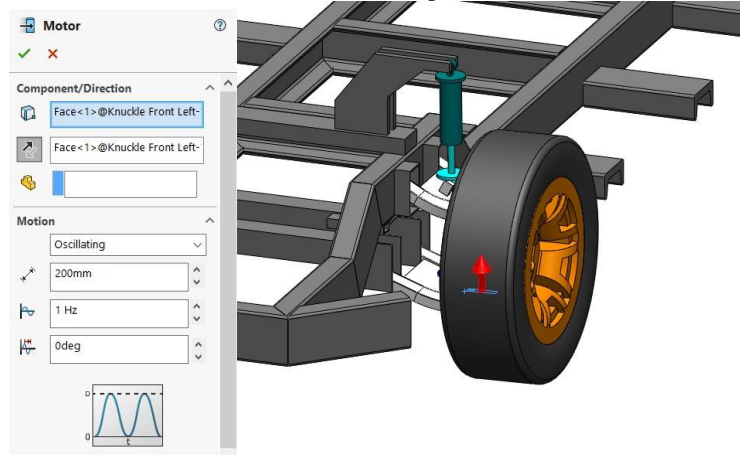
Tabel 3. Dimensi *initial kinematic layout*

Spesifikasi	
Panjang lengan atas	175mm
Panjang lengan bawah	250mm
Panjang <i>knuckle</i>	285,5mm
Jarak lengan atas & lengan bawah	295,21mm
Sudut dari jarak lengan atas & lengan bawah	82,72°
Lengan atas & sudut <i>knuckle</i>	112,8°
Lengan bawah & lengan atas ke sudut panjang lengan bawah	90,48°
Lengan bawah & sudut <i>knuckle</i>	74°

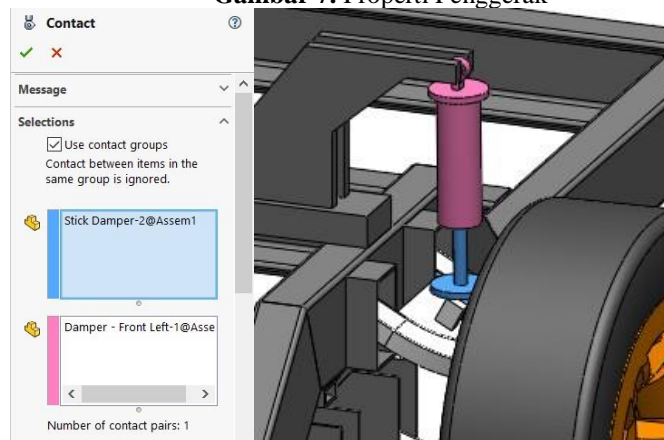
Properti yang digunakan untuk *motion analysis* memiliki 3 properti utama yaitu gravitasi, penggerak, dan *solid body contact*. Casis di tetapkan posisinya menjadi fix dan sistem suspensi dibiarkan melayang agar dapat dianalisa gerakannya. Properti yang di input disesuaikan dengan keadaan aslinya. Pada Gambar 6, Gravitasi diberikan pada analisa dengan koordinat Y dengan jumlah 9.81 m/dtk². Kemudian diberikan motor sebagai penggerak dengan jenis linier motor yang memberikan kecepatan konstan 40mm/detik vertikal keatas dan linier motor tersebut diletakan pada *knuckle* yang dapat dilihat pada Gambar 7. Properti *solid body contact* diberikan pada strut untuk memberikan batasan gerak saat terjadi kompresi yang dapat dilihat propertinya pada Gambar 8. Setelah properti sudah di input kemudian dikalkulasikan.



Gambar 6. Properti Gravitasi



Gambar 7. Properti Penggerak

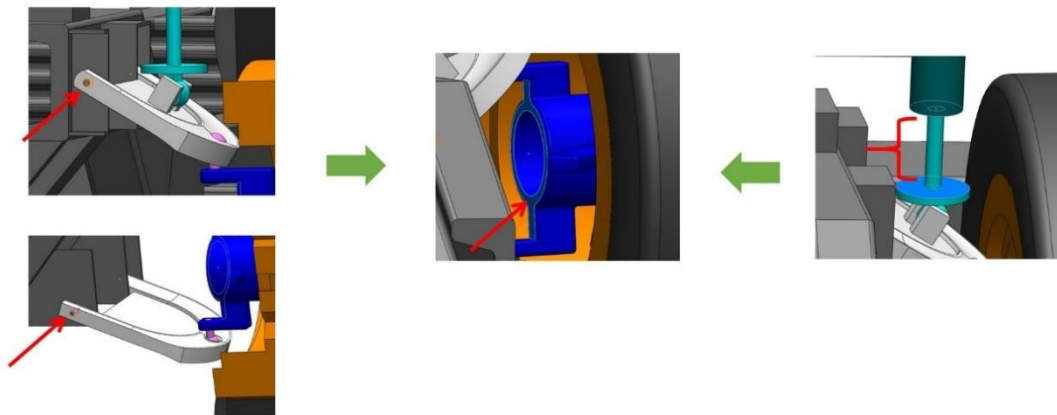


Gambar 8. Properti Solid Body Contact

2.6 Plotting

Hasil output dari *motion analysis* berupa plot grafik dari 3 bagian sistem suspensi, yang pertama lengan atas, lengan bawah, dan strut. Untuk lengan atas dan lengan bawah diambil plot grafik perpindahan angular, kecepatan angular, dan percepatan angular. Sedangkan untuk strut diambil plot grafik perpindahan aksial, kecepatan aksial, dan percepatan aksial. Ketiga bagian tersebut di ambil plot grafiknya terhadap gerak perpindahan linier dari *knuckle*.

Plotting pada lengan atas diambil dari *mate* konsentris antara lengan atas dengan casis, untuk lengan bawah juga diambil dari *mate* konsentris antara lengan bawah dengan casis, dan strut diambil plotnya dari saat posisi *steady* hingga saat keadaan terkompresi. Langkah plotting dapat dilihat pada Gambar 9.

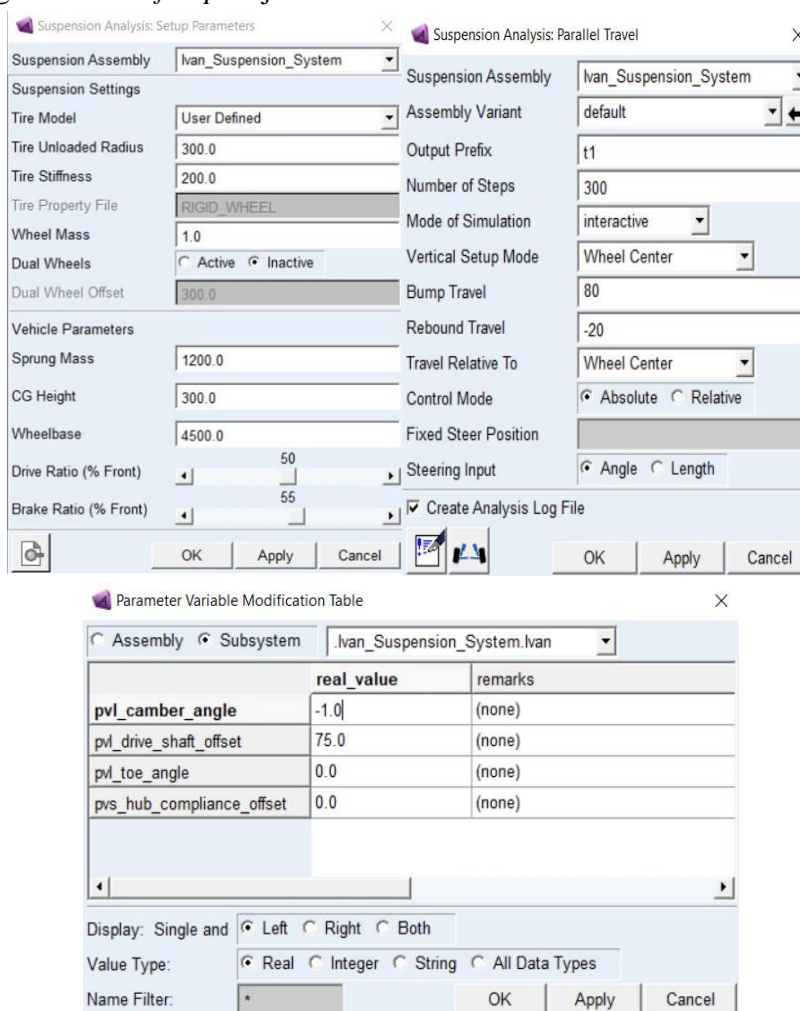


Gambar 9. Pilihan bidang permukaan untuk plotting

2.7 Analisa Camber

Analisis *camber* dilakukan di *software* ADAMS car dengan 3 tahap yang sedikit berbeda pada yang dilakukan di *software* solidworks. Pada *software* ini telah memiliki template geometri *double wishbone* yang dapat di input letak tiap hardpoinnya, setelah kinematika dari modelling solidworks telah diinput kedalam property hardpoin *software* ADAMS, setelah itu menginput sistem properti untuk menjalankan analisis *camber*.

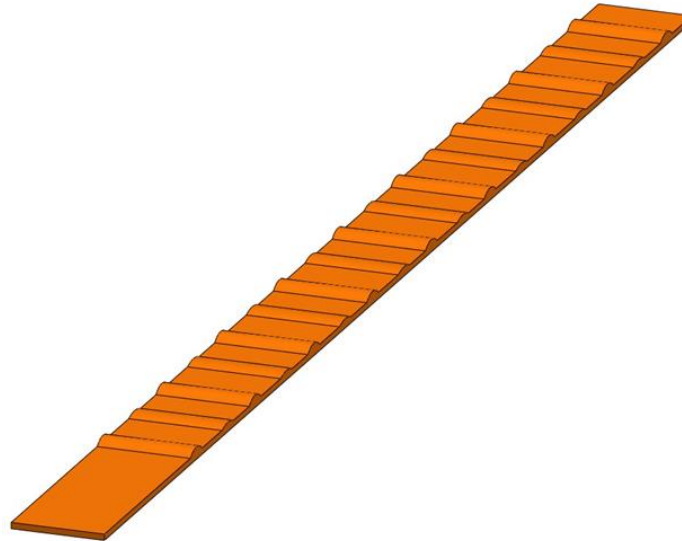
Input properti yang utama dapat dilihat pada Gambar 10 Pada analisa *camber* di *software* adams ini adalah *wheelbase* sebesar 4500mm, dan jarak antara *bump travel* dan *rebound travel* sepanjang 100mm. simulasi dibuat sehalus mungkin dengan *number of steps* sejumlah 300.



Gambar 10. Input Properti ADAMS

2.8 Simulasi Rancangan Terhadap Jalan Off-Road

Simulasi *motion analysis* rancangan sistem suspensi independen *double wishbone* menggunakan *software solidworks 2018*. Rancangan di uji coba di atas modelling jalan yang memiliki dimensi panjang 50m dan lebar 3m. Diatas jalan tersebut terdapat gundukan yang memiliki dua variasi ketinggian yaitu 20cm dan 10cm seperti yang dapat dilihat pada Gambar 11.

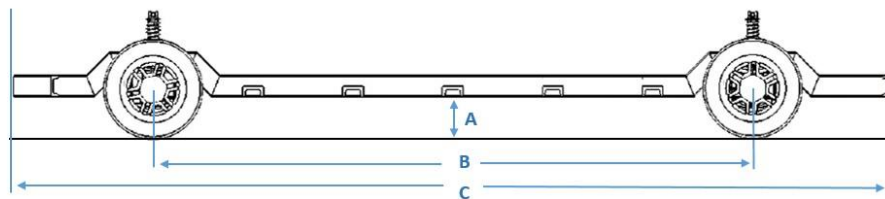


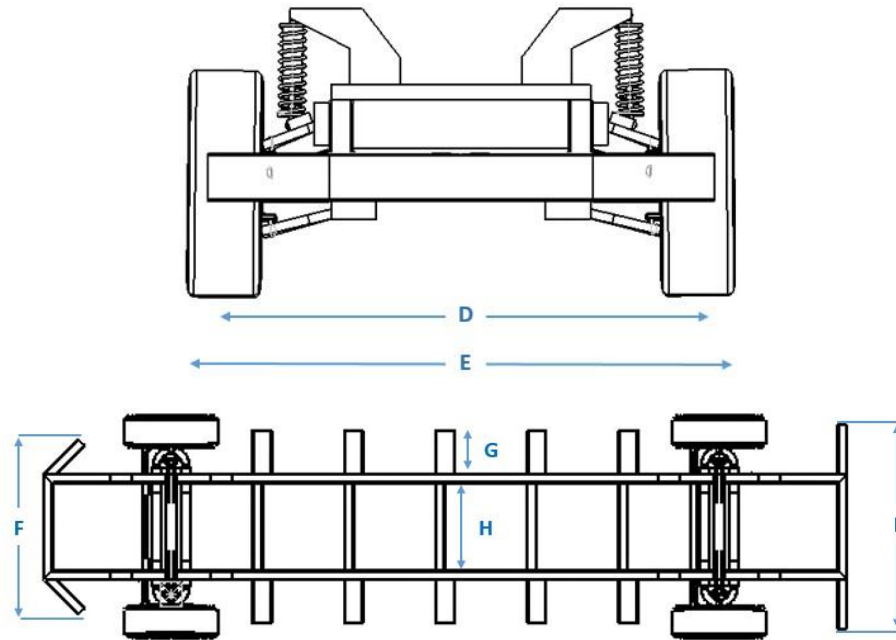
Gambar 11. Kontur jalan pada analisa gerak

Properti yang di input pada *assembly* rancangan mengikuti kebutuhan pada aslinya, motor penggerak dipasang pada setiap ban dengan jenis motor putar dengan putaran 100RPM. Rancangan di pasang *solid body contact* pada jalan yang dipasang di bagian *knuckle*, ban, dan sayap lengan kepada permukaan jalan. Dikarenakan tidak ada stir maka casis dibuat hanya bisa berjalan lurus tanpa dapat berbelok.

3. Hasil dan Pembahasan

Dengan referensi yang sudah dirujuk diatas, maka pembuatan sketsa model casis akan dibuat seperti pada Gambar 12 beserta dimensinya yang dapat dilihat pada tabel 4.





Gambar 12. Sketsa 2D

Tabel 4. Nama dan ukuran sketsa model

Poin	Nama	Ukuran
Side View		
A	<i>Ground clearance</i>	336mm
B	<i>Wheelbase</i>	4500mm
C	Panjang casis	6600mm
Front View		
D	Trek depan/belakang	1575mm
E	Lebar luar roda	1800mm
Top View		
F	Lebar <i>crossmember</i> depan	1425mm
G	Panjang samping <i>crossmember</i>	352,5mm
H	Panjang <i>crossmember</i>	710mm
I	Lebar <i>crossmember</i> belakang	1670mm

3.1 Modeling

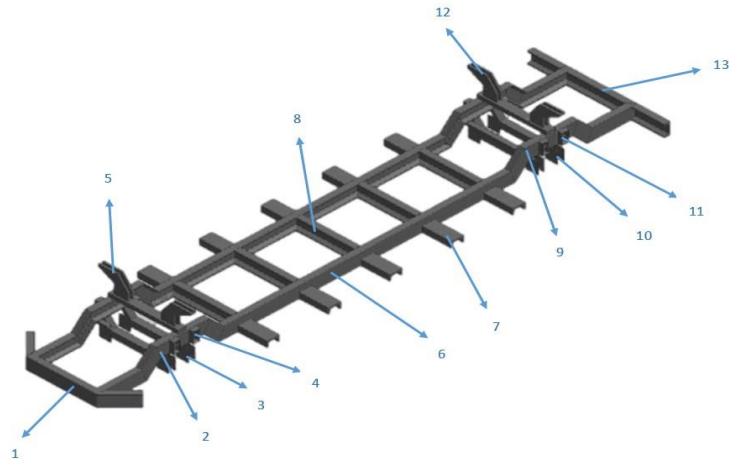
Dengan mengacu pada urutan tersebut, pembuatan desain 3D kendaraan ini terdiri dari beberapa komponen desain 3D yang dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Komponen kendaraan

No.	Nama Komponen	Jumlah
1.	<i>Casis</i>	1
2.	<i>Top Wishbone Arm</i>	2
3.	<i>Bottom Wishbone Arm</i>	2
4.	<i>Knuckle</i>	4
5.	<i>Damper</i>	4
6.	<i>Needle Damper</i>	4
7.	<i>Spring</i>	4
8.	<i>Ball Joint</i>	12
9.	<i>Drive Steering</i>	2
10.	<i>Wheel</i>	4
11.	<i>Rubber Wheel</i>	4

3.2 Assembly

Penggabungan setiap komponen mengikuti dimensi yang sudah ditetapkan pada spesifikasi kendaraan yang memiliki *Wheelbase* 4500mm dan *ground clearance* 225mm. Casis pada model ini memiliki beberapa bagian yang dapat dilihat pada Gambar 13 dengan spesifikasi nama bagiannya pada tabel 6.

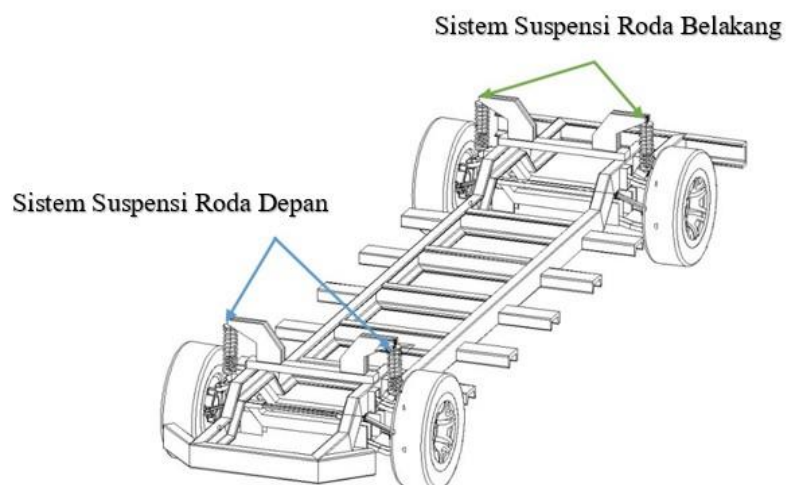


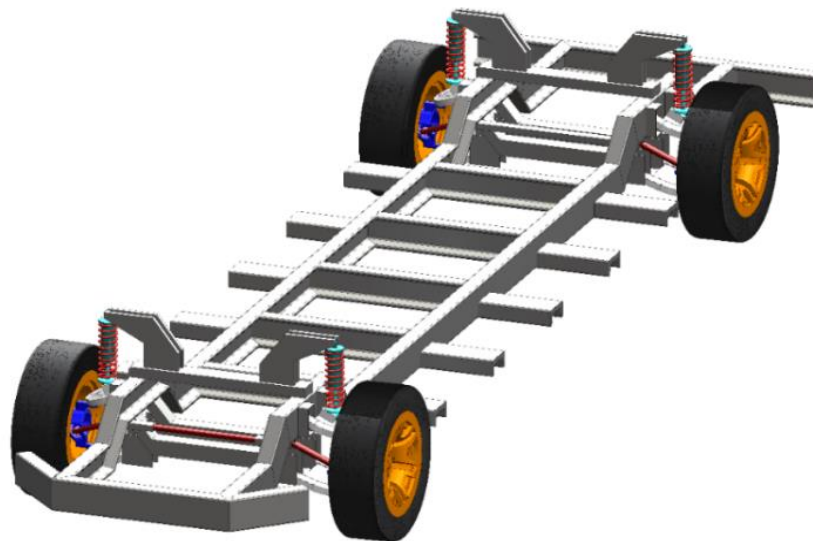
Gambar 13. Bagian Casis

Tabel 6. Nama bagian casis

No. Bagian	Nama
1	<i>Crossmember</i> depan
2	Rumahan roda depan
3	Braket lengan bawah depan
4	Braket lengan atas depan
5	Braket suspensi lengan atas depan
6	Member utama
7	<i>Crossmember</i> samping
8	<i>Crossmember</i>
9	Rumahan roda belakang
10	Braket lengan bawah belakang
11	Braket lengan atas belakang
12	Braket suspensi atas belakang
13	<i>Crossmember</i> belakang

Semua komponen dan casis dibuat dan digabungkan melalui *software* solidworks 2018. Setiap komponen dibuat dengan mengacu pada dimensi utama yang sudah ditetapkan. Kemudian setiap bagian di *assembly* sesuai dengan batasan sketsa dimensi utama, *assembly* di lakukan dengan menghubungkan berbagai bagian yang disesuaikan dengan kebutuhan setiap pergerakan komponen. *Assembly* dapat dilihat pada Gambar 14.

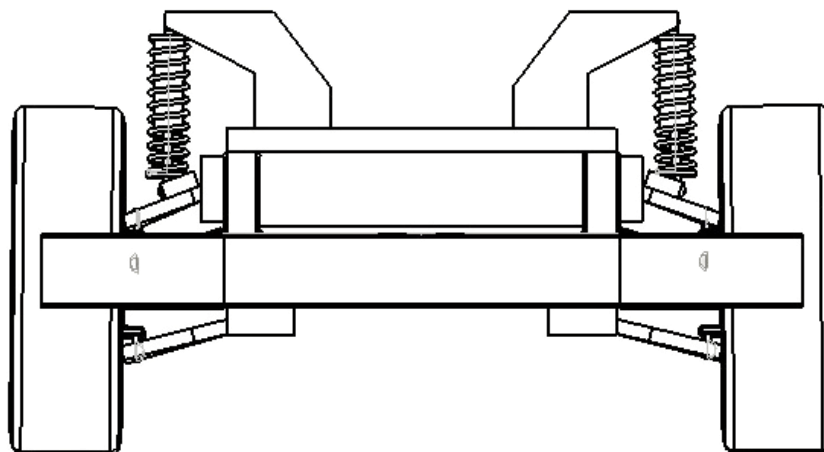




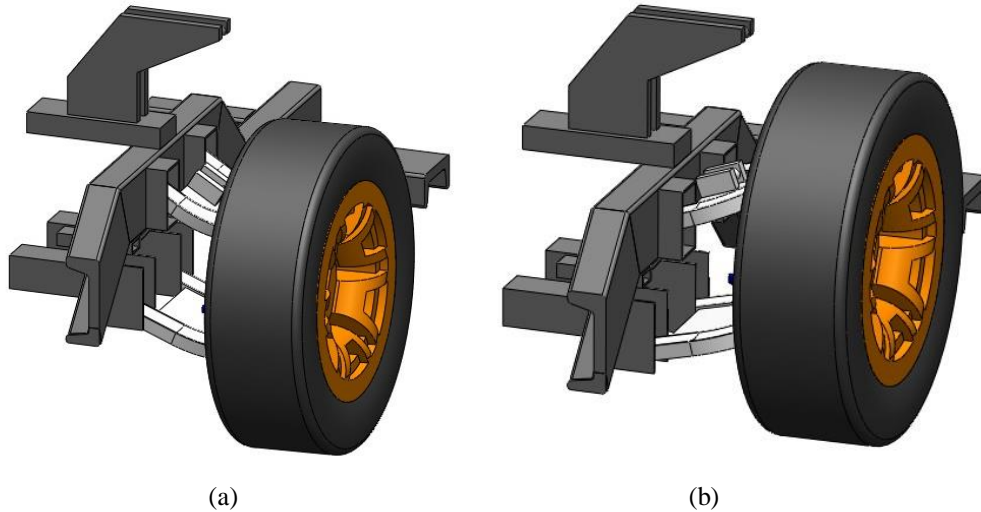
Gambar 14. Assembly

3.3 Analisa Kinematika Double Wishbone

Prosedur analisa kinematika dari sistem suspensi yang telah dibuat dengan solidworks 2018 dilakukan dengan pertama mengambil data dari dimensi modelling *wishbone* lengan atas dan *wishbone* lengan bawah, dengan panjang dimensi untuk *wishbone* lengan atas yaitu 175mm dan panjang dimensi untuk *wishbone* lengan bawah yaitu 250mm. Setelah mengambil data dari panjang dimensi kedua *wishbone*, langkah selanjutnya adalah menentukan awal tata letak kinematika suspensi yang dapat dilihat pada Gambar 15. Awal kinematika diambil pada posisi *steady* kendaraan dengan strut 100mm, sehingga bentuk sistem suspensi berada pada point bawah yang dapat dilihat pada Gambar 16.

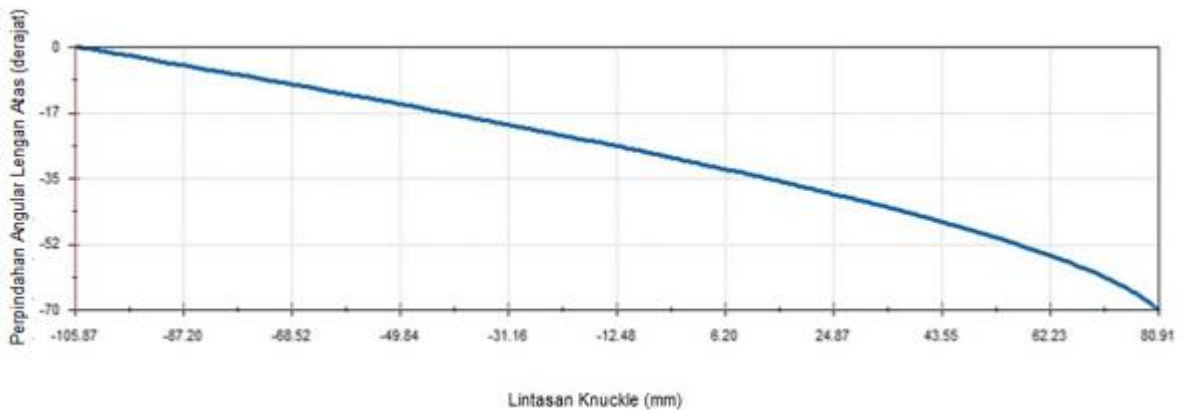


Gambar 15. Kinematika awal



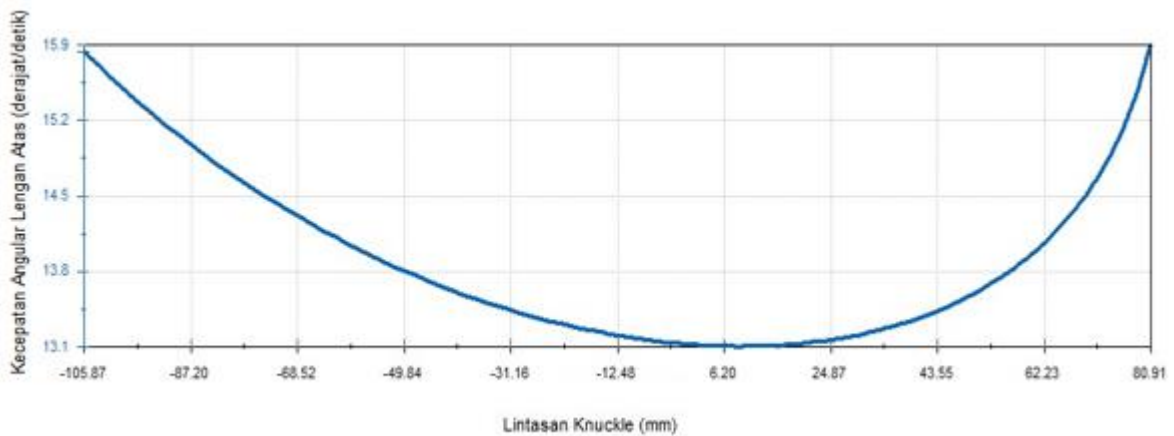
(a) (b)
Gambar 16. Lower point(a) dan upper point(b)

Pada simulasi gerak lengan atas terhadap *knuckle* yang dilakukan pada *motion analysis* solidwork 2018, Gambar 17 menunjukkan bahwa rentang panjang gerak perpindahan *knuckle* terhadap koordinat Y vertikal adalah dari -105.87mm sampai dengan 80.91mm dengan pusat koordinat pada casis yang telah ditetapkan. Pada rentang panjang *knuckle* tersebut, lengan atas mengalami perubahan gerak angular dari 0 derajat hingga -70derajat dengan pusat konsentris antara lengan atas dengan casis.



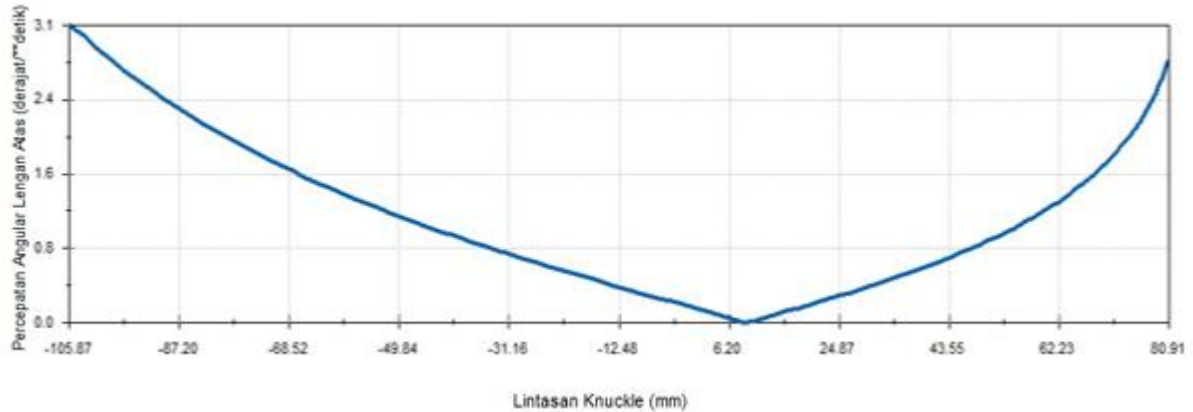
Gambar 17. Upper arm angular displacement terhadap knuckle travel Y

Hasil simulasi kecepatan angular lengan atas terhadap *knuckle* yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 18, rentang panjang gerak perpindahan *knuckle* terhadap koordinat Y vertikal adalah dari -105.87mm sampai dengan 80.91mm dengan pusat koordinat pada casis yang telah di tetapkan. Pada rentang panjang *knuckle* tersebut, lengan atas mengalami perubahan kecepatan angular dari 15.9derajat/detik hingga kecepatan terendah pada 13.1derajat/detik di perpindahan *knuckle* 6.20derajat/detik dengan pusat konsentris antara lengan atas dengan casis.



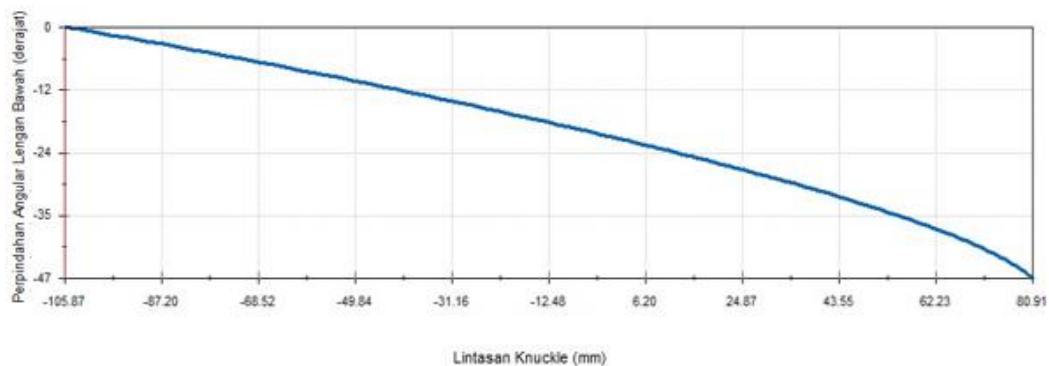
Gambar 18. Upper arm angular velocity terhadap knuckle travel Y

Plot grafik dari simulasi percepatan angular lengan atas terhadap *knuckle*, rentang panjang gerak perpindahan *knuckle* terhadap koordinat Y vertikal adalah dari -105.87mm sampai dengan 80.91mm dengan pusat koordinat pada casis yang telah di tetapkan. Pada rentang panjang *knuckle* tersebut, lengan atas mengalami perubahan percepatan angular dari 3.1derajat/detik² hingga 2.7derajat/detik² dengan pusat konsentris antara lengan atas dengan casis. Percepatan mengalami penurunan paling rendah yaitu pada angka 0derajat/detik² pada perpindahan *knuckle* di 12.14mm. Plot percepatan angular lengan atas dapat dilihat pada Gambar 19.



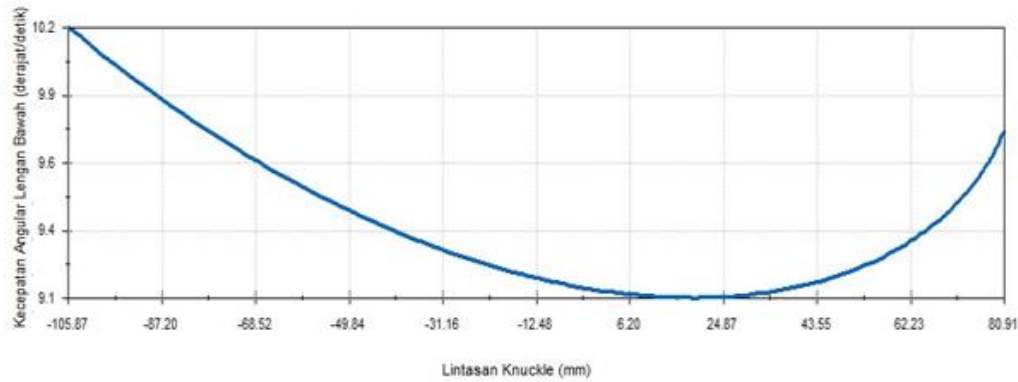
Gambar 19. Upper arm angular acceleration terhadap knuckle travel Y

Pada simulasi gerak lengan bawah terhadap *knuckle* yang dilakukan pada *motion analysis* solidwork 2018, Gambar 20 menunjukkan bahwa rentang panjang gerak perpindahan *knuckle* terhadap koordinat Y vertikal adalah dari -105.87mm sampai dengan 80.91mm dengan pusat koordinat pada casis yang telah di tetapkan. Pada rentang panjang *knuckle* tersebut, lengan bawah mengalami perubahan gerak angular dari 0derajat hingga -47derajat dengan pusat konsentris antara lengan bawah dengan casis.



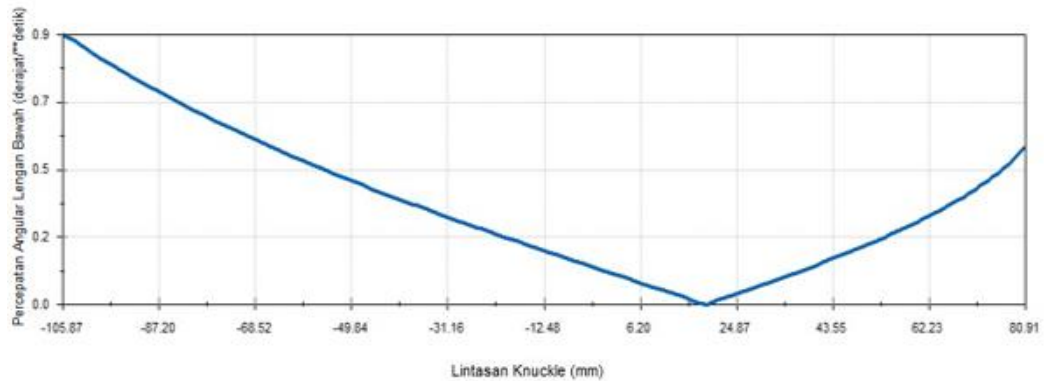
Gambar 20. Lower arm angular displacement terhadap knuckle travel Y

Hasil simulasi kecepatan angular lengan bawah terhadap *knuckle* yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 21, rentang panjang gerak perpindahan *knuckle* terhadap koordinat Y vertikal adalah dari -105.87mm sampai dengan 80.91mm dengan pusat koordinat pada casis yang telah di tetapkan. Pada rentang panjang *knuckle* tersebut, lengan bawah mengalami perubahan kecepatan angular dari 10.2derajat/detik hingga kecepatan terendah pada 9.1derajat/detik di perpindahan *knuckle* 21derajat/detik dengan pusat konsentris antara lengan bawah dengan casis.



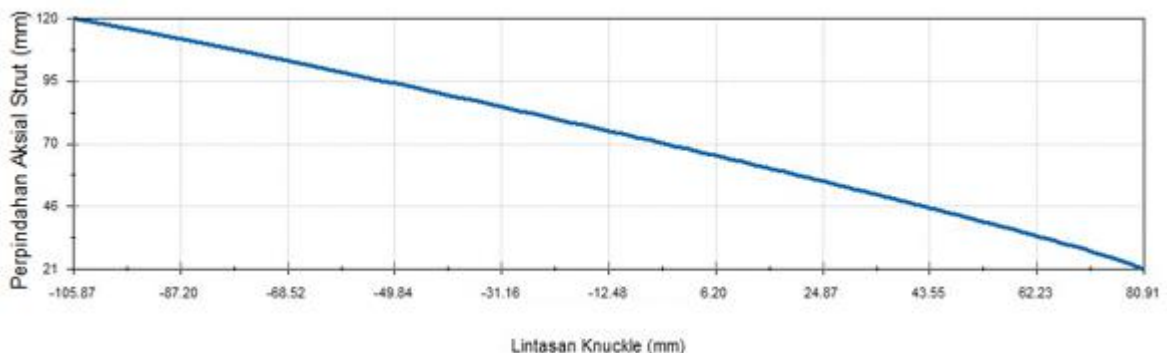
Gambar 21. Lower arm angular velocity terhadap knuckle travel Y

Plot grafik dari simulasi percepatan angular lengan bawah terhadap *knuckle*, rentang panjang gerak perpindahan *knuckle* terhadap koordinat Y vertikal adalah dari -105.87mm sampai dengan 80.91mm dengan pusat koordinat pada casis yang telah di ditetapkan. Pada rentang panjang *knuckle* tersebut, lengan bawah mengalami perubahan percepatan angular dari 0.9derajat/detik² hingga ke 0.55derajat/detik² dengan pusat konsentris antara lengan atas dengan casis. Percepatan mengalami penurunan paling rendah yaitu pada angka 0derajat/detik² pada perpindahan *knuckle* di 20mm. Plot percepatan angular dari lengan bawah dapat dilihat pada Gambar 22.



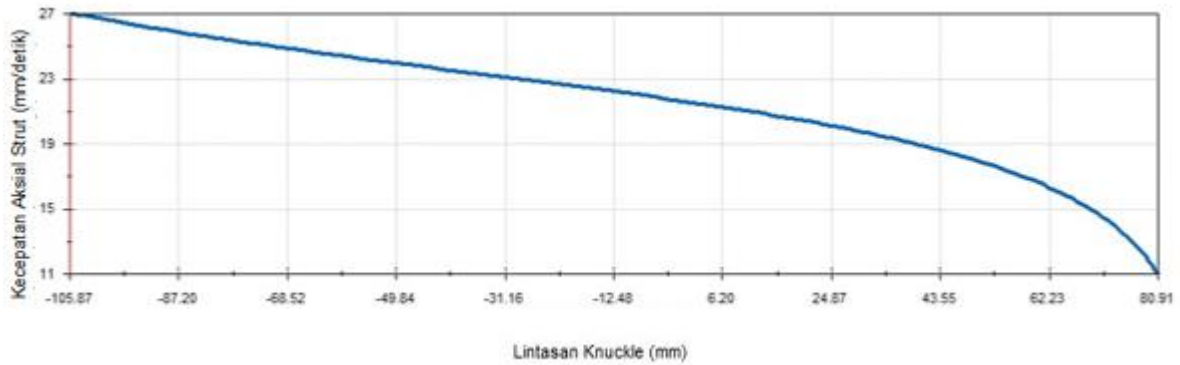
Gambar 22. Lower arm angular acceleration terhadap knuckle travel Y

Pada simulasi gerak perpindahan aksial strut terhadap *knuckle* yang dilakukan pada *motion analysis* solidwork 2018, Gambar 23 menunjukkan bahwa rentang panjang gerak perpindahan *knuckle* terhadap koordinat Y vertikal adalah dari -105.87mm sampai dengan 80.91mm dengan pusat koordinat pada casis yang telah ditetapkan. Pada rentang panjang *knuckle* tersebut, strut mengalami perubahan gerak aksial dari 120mm hingga 21mm dengan perpindahan dari penetapan awal *needle* suspensi hingga maksimum *needle* berkompresi.



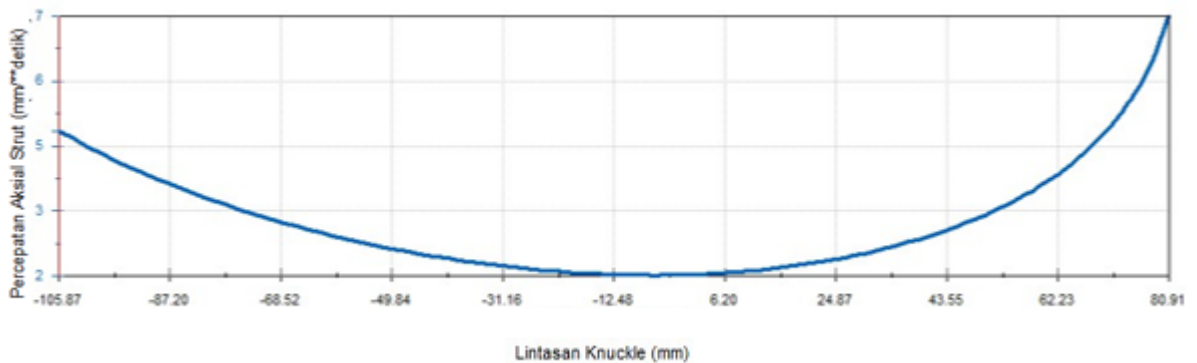
Gambar 23. Strut axial displacement terhadap knuckle travel Y

Hasil simulasi kecepatan aksial strut terhadap *knuckle* yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 24, rentang panjang gerak perpindahan *knuckle* terhadap koordinat Y vertikal adalah dari 105.87mm sampai dengan 80.91mm dengan pusat koordinat pada casis yang telah di ditetapkan. Pada rentang panjang *knuckle* tersebut, strut mengalami perubahan kecepatan aksial dari 27mm/detik hingga 11mm/detik. Perubahan kecepatan aksial strut dimulai dari penetapan awal *rebound needle* suspensi hingga maksimum *needle* berkompresi.



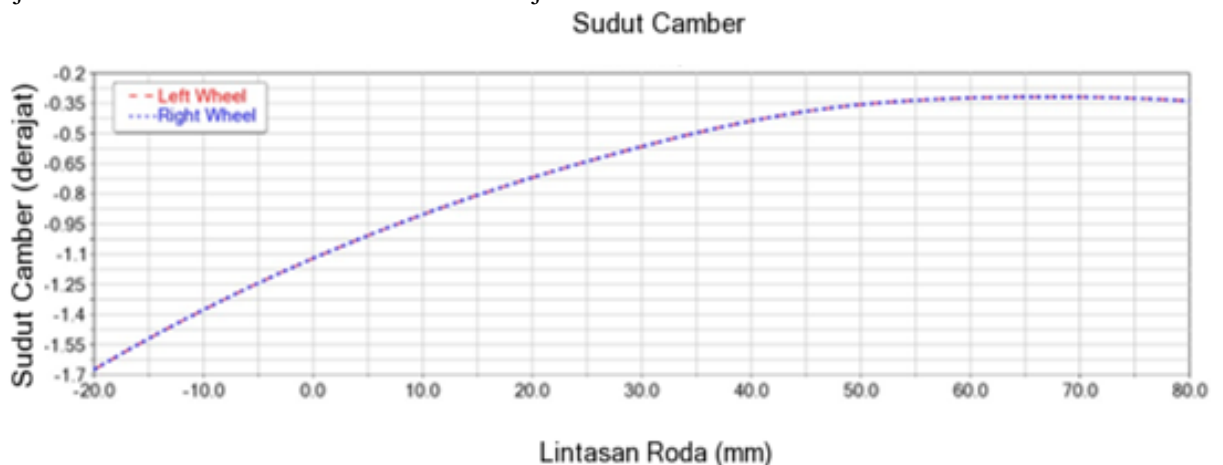
Gambar 24. Strut axial displacement terhadap knuckle travel Y

Plot grafik dari simulasi percepatan aksial strut terhadap *knuckle*, rentang panjang gerak perpindahan *knuckle* terhadap koordinat Y vertikal adalah dari -105.87mm sampai dengan 80.91mm dengan pusat koordinat pada casis yang telah ditetapkan. Pada rentang panjang *knuckle* tersebut, strut mengalami perubahan percepatan aksial dari 5.2mm/detik² hingga ke 7mm/detik² dengan perubahan percepatan aksial strut dimulai dari penetapan awal *needle* suspensi hingga maksimum *needle* berkompresi.. Percepatan mengalami penurunan paling rendah yaitu pada angka 2mm/detik² pada perpindahan *knuckle* di -5mm. Percepatan aksial strut dapat dilihat pada Gambar 25.



Gambar 25. Strut axial displacement terhadap knuckle travel Y

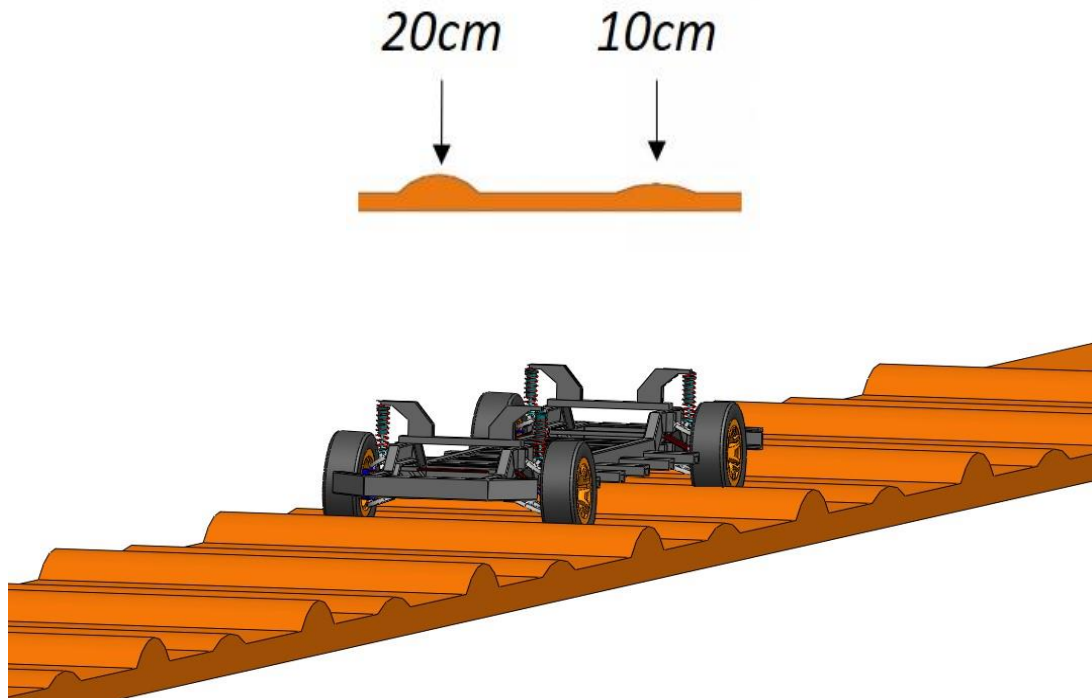
Pada simulasi sudut *camber* yang dilakukan di *software* ADAMS car 2018 yang dapat dilihat pada Gambar 26, sudut *camber* menunjukkan bahwa dengan rentang lintasan roda 100mm, dimana *rebound travel* sebesar -20 dan *bump travel* sebesar 80. Sudut *camber* berada tetap di daerah negatif *camber* dari 1.6derajat hingga ke -0.35derajat dan variasi sudut *camber* sebesar 1.9derajat.



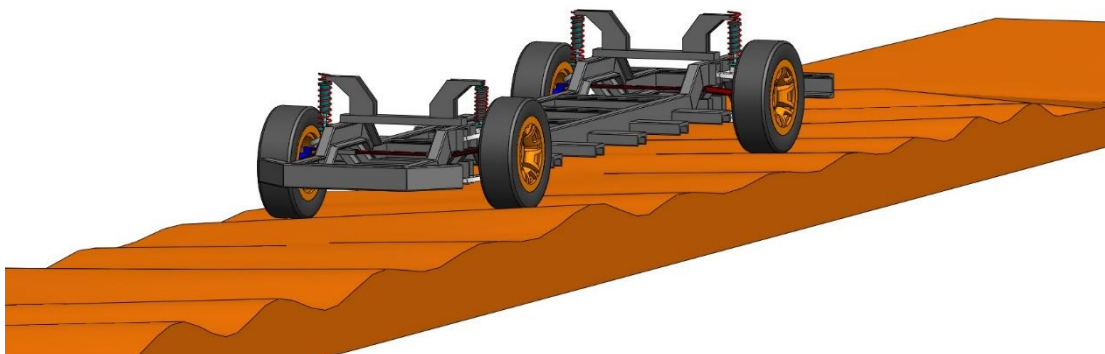
Gambar 26. Camber angle terhadap wheel travel

Rancangan sistem suspensi kemudian diujikan pada 2 bentuk jalan yang masing-masing adalah jalan berkontur gundukan dengan 2 variasi ketinggian 20cm dan 10cm seperti pada Gambar 27 dan jalan berkontur *free roam Off-Road* yang dapat dilihat pada Gambar 28. Jalan ini kemudian diujikan dengan *motion analysis* solidwork

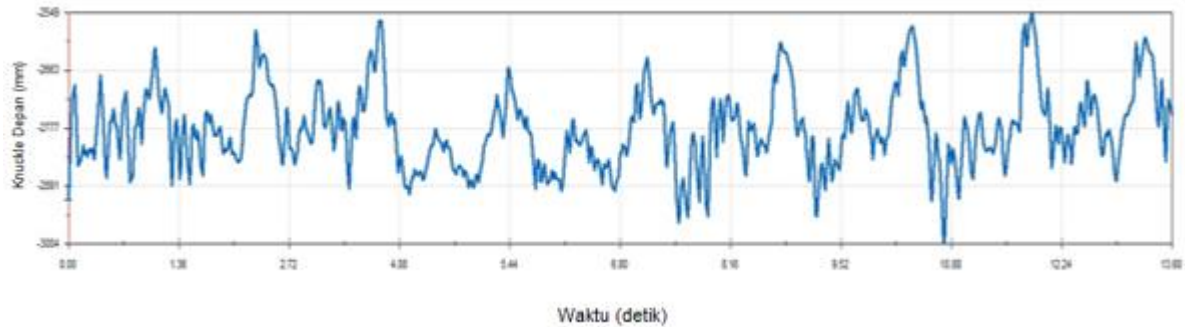
2018. Kedua bentuk jalan dibuat dengan panjang jalan 50m dan lebar jalan 3m. Rancangan kendaraan diberikan motor pada roda ke empat rodanya yang dapat memberikan kecepatan sebesar 100rpm. Dari hasil yang didapat, roda depan dan roda belakang mengalami lintasan *knuckle* tertinggi berturut turut 317mm dan 499mm dengan gundukan 20cm yang dapat dilihat pada Gambar 29 sedangkan untuk gundukan 10cm yang dapat dilihat pada Gambar 30, roda depan dan roda belakang mengalami lintasan *knuckle* tertinggi di 164mm dan 303mm.



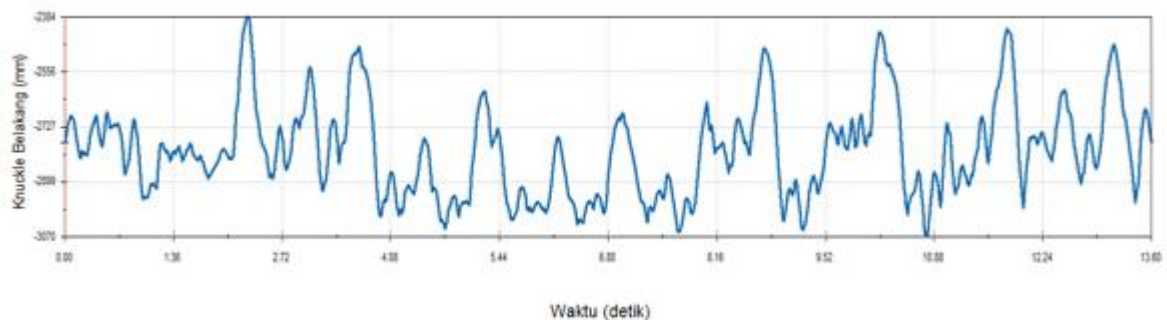
Gambar 27. Simulasi respon kontur dua gundukan dengan ban



Gambar 28. Simulasi respon kontur freeroam dengan ban



Gambar 29. Perpindahan knuckle depan terhadap waktu



Gambar 30. Perpindahan linear knuckle belakang terhadap waktu

4. Kesimpulan

Setelah menjalankan beberapa penelitian yang sudah dibuat, penulis dapat menyimpulkan bahwa:

1. Dengan geometri dan kinematika yang telah dibuat, sistem suspensi memiliki perpindahan angular sebesar -70 derajat, kecepatan angular tertinggi $15,9$ derajat/detik, dan percepatan angular tertinggi $3,1$ derajat/detik² untuk lengan atas. Sedangkan untuk lengan bawah memiliki perpindahan angular sebesar -47 derajat, kecepatan angular tertinggi $10,2$ derajat/detik, dan percepatan angular tertinggi $0,9$ derajat/detik². Untuk strut memiliki perpindahan aksial sebesar 101 mm, kecepatan aksial tertinggi 27 mm/detik, dan untuk percepatan aksial tertinggi 7 mm/detik².
2. Kinematika dari layout sistem suspensi double wishbone menghasilkan sudut camber yang tetap pada daerah negatif camber dan memiliki nilai variasi sebesar $1,9$ derajat.
3. Pada jalan yang memiliki ketinggian 20 cm, knuckle roda depan mengalami perpindahan aksial tertinggi sebesar 316 mm dan untuk roda belakang sebesar 441 mm. Sedangkan untuk ketinggian jalan 10 cm, knuckle roda depan mengalami perpindahan aksial tertinggi 151 mm dan untuk roda belakang sebesar 369 mm. Kendaraan memiliki perpindahan aksial yang cukup tinggi dikarenakan needle strut dibuat masih dapat rebound melebihi posisi steady yaitu 100 mm pada saat roda kendaraan melayang dalam arti roda tidak menempel pada permukaan jalan, ditambahkan dengan ground clearance kendaraan yang tinggi yaitu 336 mm sesuai dengan tinggi ground clearance untuk jenis kendaraan bus.

5. Daftar Pustaka

- [1]. Accurate. [Online]. Available: <https://accurate.id/bisnis-ukm/pengertian-agrikultur/>. [Accessed 28 01 2022].
- [2]. F. L. Larsen, Front Suspension Design for an Electric Delivery Vehicle, Norway, 2019.
- [3]. D. W. F. Milliken, Race Car Vehicle Dynamics, Warrendale: Society of Automotive Engineers, 1995.
- [4]. S. o. A. Engineers, Vehicle Dynamics Terminology, Warrendale, 1976.
- [5]. "Longacre Racing Products," [Online]. Available: <https://www.longacreracing.com/technical-articles.aspx?item=8162>. [Accessed 28 December 2021].
- [6]. "Fastnlow.net," [Online]. Available: <https://fastnlow.net/apasih-fungsi-camber-caster-dan-toe-pada-mobil/>. [Accessed 28 December 2021].
- [7]. C. a. D. it, "Learn Camber, Caster, Toe," [Online]. Available: <https://www.comeanddriveit.com/suspension/camber-caster-toe>. [Accessed 28 December 2021].
- [8]. DSportMagazine, "Alignment Tech- Optimize Your Handling Performance," [Online]. Available: <http://dsportmag.com/the-tech/extracting-handling-performancealignment-settings/>. [Accessed 28 December 2021].
- [9]. D. W. F. Milliken, "Casis set-up," in Race Car Vehicle Dynamics, Warrendale, Society of Automotive Engineers, 1995, pp. 398-400.
- [10]. G. R. Center, "Center of Gravity," NASA, [Online]. Available: <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/cg.html>. [Accessed 28 December 2021].
- [11]. D. W. F. Milliken, "Instant Center Defined," in Race Car Vehicle Dynamics, Warrendale, Society of Automotive

- Engineers, 1995, pp. 610-612.
- [12]. D. L. M. W. F. Milliken, "Roll Center Height," in Race Car Vehicle Dynamics, Warrendale Society of Automotive Engineers, 1995, pp. 613-614.
- [13]. D. L. M. W. F. Milliken, "Ackerman Steering Geometri," in Race Car Vehicle, Warrendale, Society of Automotive Engineers, 1995, pp. 713-716.
- [14]. "WerkEmotion," [Online]. Available: <https://www.werkemotion.com/project/torsus-praetorian/>. [Accessed 13 01 2022].
- [15]. "Texas Specification," Passenger casis specification, Vols. 070-SB-98, p. 7, 1998.
- [16]. "Tire Size," BFGoodrich Tire, [Online]. Available: <https://tiresize.com/tires/BFGoodrich/All-Terrain-TA-KO2-225-75R16.htm>. [Accessed 14 01 2022].