

PERANCANGAN SISTEM SUSPENSI MOBIL FORMULA GARUDA 16 (FG16) DITINJAU DARI GEOMETRI SUSPENSI DAN SIMULASI *FINITE ELEMENT ANALYSIS* (FEA)

DESIGN OF FORMULA GARUDA 16 (FG16) CAR SUSPENSION SYSTEM CONSIDERED BY SUSPENSION GEOMETRY AND FINITE ELEMENT ANALYSIS (FEA) SIMULATION

Oleh:

Widhihastu Dharma Setiawandan Muhkamad Wakid
Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif FT UNY
widhihastu@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk (1) menghasilkan rancangan sistem suspensi mobil Formula Garuda 16 (FG16) supaya memiliki berat yang lebih ringan dan mempunyai respon transisi yang lebih cepat daripada mobil F15, (2) menghasilkan kinematika suspensi yang memiliki kemampuan manuver yang lebih baik daripada mobil F15 dan mengurangi terjadinya *understeer*, serta (3) memastikan komponen sistem suspensi tetap aman dan dapat diandalkan pada setiap kondisi *driving*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian pengembangan dengan model *Engineering Design Process*. Objek penelitian ini adalah desain sistem suspensi yang selanjutnya akan diaplikasikan pada mobil Formula Garuda 16 (FG16) untuk mengikuti *Student Formula Japan* pada tahun 2016. Alat pengumpulan data yang digunakan pada penelitian ini adalah perangkat lunak *Lotus Suspension Analysis* (LSA) dan perangkat lunak *Solidworks*. Teknik analisis data yang digunakan adalah analisis kinematika suspensi dan simulasi *Finite Element Analysis* (FEA). Data kinematika suspensi berupa angka dan grafik pada kondisi *bump*, *roll*, dan *steered*. Sedangkan data simulasi FEA berupa gambar kontur *stress* dan nilai faktor keamanan komponen sistem suspensi pada kondisi *driving* yang meliputi kondisi *bump*, kondisi pengereman, kondisi akselerasi, dan kondisi berbelok. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa desain sistem suspensi mobil Formula Garuda 16 (FG16) adalah sebagai berikut: (1) memiliki berat yang lebih ringan yaitu 48,8 kg, dan nilai *roll gradient* 0,483 deg/g yang artinya memiliki respon transisi yang lebih cepat daripada mobil F15, (2) memiliki *roll camber* lebih rendah dan letak *roll center* yang lebih baik, sehingga kemampuan manuvernya lebih baik daripada mobil F15, serta (3) memiliki faktor keamanan komponen minimal 1,21 yang artinya komponen layak dan aman pada setiap kondisi *driving*.

Kata kunci: Desain, Sistem Suspensi, Mobil FG16, Kinematika Suspensi, *Finite Element Analysis*, *Formula Student*

Abstract

The aims of this research are (1) resulting of Formula Garuda 16 (FG16) car suspension system that has lighter weight and faster responding in transient than F15 car, (2) resulting suspension kinematic that has better maneuverability and less understeer than F15 car, and (3) determining capability and reliability of suspension system components in driving conditions. This research is using a developmental research methods with Engineering Design Process Model. The objective of this research is a design of suspension system that will be applied on FG16 car. The equipments of this research uses Lotus Suspension Analysis (LSA) software and Solidworks software. Lotus Suspension Analysis software is used to analyze suspension kinematic and Solidworks software is used to simulate suspension system with Finite Element Analysis (FEA) method. Suspension kinematic data will be form numeric values and graphics in bump, roll, and steered condition. FEA simulation data will be form stress contours and safety factor of suspension system components in driving conditions such as bumping, braking, accelerating, and cornering. The results of this research indicate that FG16 car suspension system are: (1) had lighter weight with 48.8 kg and faster responding in transient with 0.483 deg/g roll gradient, (2) had better maneuverability than F15 car with less value of roll camber and better position of roll center, and (3) had capability and reliability in driving condition with minimum factor of safety 1.2.

Keywords: Design, Suspension System, FG16 Car, Suspension Kinematic, Finite Element Analysis, Formula Student

PENDAHULUAN

Student Formula Japan (SFJ) merupakan ajang kompetisi mahasiswa dalam membangun sebuah *single seat formula racecar* yang akan berkompetisi melawan tim-tim dari seluruh dunia. SFJ juga merupakan bagian dari *Formula Student of Automotive Engineering* (FSAE) *series*. Kompetisi ini adalah kompetisi tahunan yang sudah dimulai sejak tahun 2003 di Jepang. Kompetisi ini tidak hanya semata-mata untuk menghasilkan mobil balap siapa yang tercepat, tetapi lebih untuk bagaimana membangun mobil balap yang terbaik secara konstruksi, performa, finansial, dan rencana pemasaran. SFJ menawarkan tantangan yang tinggi bagi seluruh mahasiswa dalam membangun dan merakit mobil dengan mempertimbangkan aspek ekonomi yang ada dalam industri otomotif. Hasilnya adalah membangun sebuah *single seat formula racecar* yang memiliki *good driving characteristic* saat akselerasi, deselerasi, dan bermanuver.

Tahun 2016 Universitas Negeri Yogyakarta akan berpartisipasi dalam *Student Formula Japan 2016* untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dari tahun sebelumnya. Membangun mobil balap untuk yang kedua kalinya dengan performa yang lebih baik tentu menjadi tantangan tersendiri bagi Garuda UNY *Racing Team*. Oleh sebab itu perbaikan dan pengembangan perlu dilakukan dengan menganalisis kekurangan performa pada masing-masing sistem mobil F15.

Berdasarkan *race endurance*, mobil F15 hanya bisa mencatatkan waktu tercepat 1,14 menit dengan jarak satu putaran 0,934 km, yang artinya mobil hanya bisa melaju dengan kecepatan rata-rata 49 km/jam. Bila ditinjau berdasarkan analisis video saat *race endurance* di tikungan dengan *radius* konstan 12 meter, mobil F15 hanya bisa melaju dengan kecepatan 40,7 km/jam. *Driver* juga merasakan apabila mobil dipacu dengan kecepatan yang lebih tinggi ditikungan tersebut, mobil akan mengalami *understeer*. Hal tersebut dapat disebabkan karena

perbedaan sudut belok roda depan sisi dalam dan roda depan sisi luar yang terlalu besar, yaitu sudut belok roda depan sisi dalam 10° dan sudut belok roda depan sisi luar 6° saat berbelok di tikungan dengan *radius* konstan 12 meter. Selain itu *driver* juga merasakan lambatnya respon suspensi saat melintasi *chicane* dan merasakan limbung saat mobil berbelok. Kondisi tersebut bila ditinjau berdasarkan analisis video saat *race endurance* menunjukkan mobil mengalami *roll* sekitar 2° . Hal tersebut disebabkan karena konstanta pegas suspensi mobil F15 terlalu lunak yaitu 23,6 N/mm yang menghasilkan *roll gradient* 1,307 deg/g.

Fakta lain menunjukkan bahwa pemeriksaan pada ban depan mobil F15 setelah menyelesaikan *endurance* mengalami keausan yang lebih besar pada sisi dalamnya, sedangkan untuk ban belakang mengalami keausan yang cukup merata. Hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat kesalahan dalam setingan *frontwheel alignment* mobil F15. Tentu dari fakta dan data yang diperoleh setelah *race* di lintasan *autocross* dan *endurance* memang mengarah pada kemampuan manuver yang sangat dipengaruhi oleh sistem suspensi yang perlu diperbaiki guna menghasilkan mobil dengan kemampuan manuver yang lebih baik.

METODE PENELITIAN

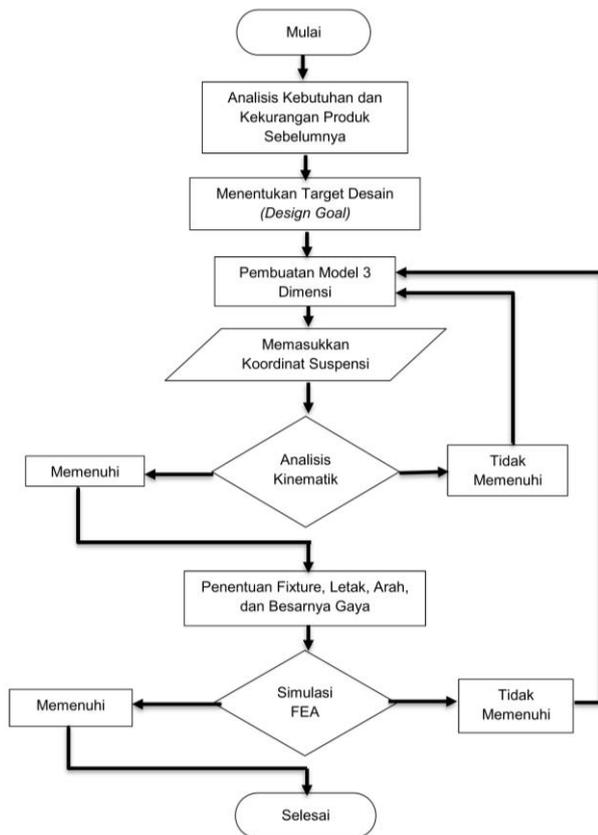
Model Penelitian

Model pengembangan yang digunakan untuk merancang sistem suspensi mobil Formula Garuda 16 (FG16) adalah model *engineering design process*. Berdasarkan Norton (1999: 7) *engineering design* merupakan rangkaian kegiatan iteratif yang mengaplikasikan berbagai teknik dan prinsip-prinsip ilmiah yang bertujuan untuk mendefinisikan peralatan, proses, atau sistem secara detail sehingga dapat direalisasikan. Norton memaparkan tahapan *engineering design* meliputi gagasan, identifikasi kebutuhan, latar belakang penelitian, target rancangan, spesifikasi performa, analisis,

seleksi, detail rancangan, pengujian, dan yang terakhir adalah produksi.

Prosedur Penelitian

Prosedur perancangan sistem suspensi mobil FG16 dilakukan melalui tahapan seperti yang ditampilkan pada gambar 1 sebagai berikut:



Gambar 1. Skema Diagram Penelitian

Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah desain sistem suspensi mobil FG16. Obyek penelitian ini selanjutnya akan diproduksi dan diaplikasikan pada mobil FG16 untuk mengikuti *Student Formula Japan* tahun 2016.

Metode dan Alat Pengumpulan Data

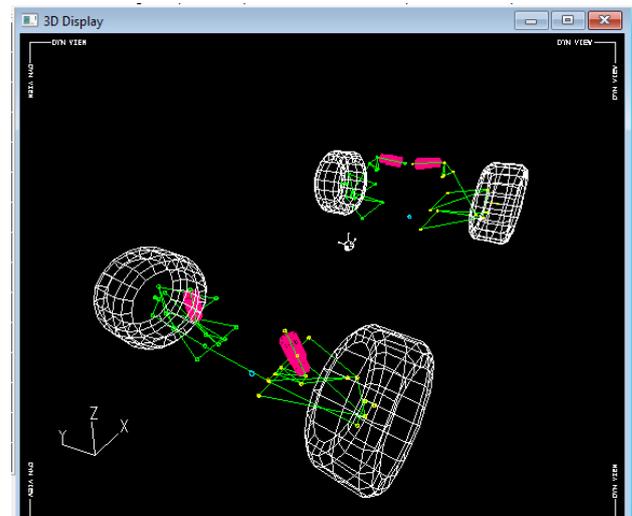
Alat pengambilan data yang digunakan pada penelitian ini adalah laptop dengan spesifikasi *processor* Intel Core i3, *VGA Card* Nvidia Geforce 610M, dan RAM 6GB. Metode analisis kinematika suspensi dilakukan dengan perangkat lunak *Lotus Suspension Analysis*. Data kinematika suspensi berupa angka dan grafik pada kondisi *bump*, *roll*, dan *steered*. Sedangkan pengujian kekuatan

komponen sistem suspensi dilakukan dengan metode *Finite Element Analysis* (FEA) yang terdapat pada perangkat lunak *Solidworks*. Data simulasi FEA berupa gambar kontur *stress* dan nilai faktor keamanan komponen sistem suspensi pada kondisi *driving* yang meliputi kondisi *bump*, kondisi pengereman, kondisi akselerasi, dan kondisi berbelok.

Teknik Analisis Data

1. Teknik Analisis Data Kinematika Suspensi

Analisis data kinematika sistem suspensi mobil FG16 dilakukan dengan cara menentukan *layout* model sistem suspensi mobil FG16. Setelah itu, memasukkan koordinat titik-titik geometri dari model 3 dimensi sistem suspensi mobil FG16 di *Solidworks* ke dalam perangkat lunak *Lotus Suspension Analysis* (LSA) seperti pada gambar 2.



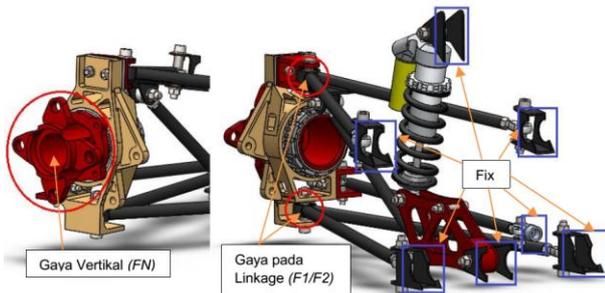
Gambar 2. Koordinat Sistem Suspensi Mobil FG16 pada LSA

Koordinat geometri suspensi yang telah dimasukkan ke dalam *Lotus Suspension Analysis* kemudian akan membentuk sebuah *layout* geometri sistem suspensi mobil FG16 sesuai dengan desain 3 dimensi yang telah dibuat di *Solidworks*. Setelah itu, barulah kemudian dilakukan analisis kinematika suspensi pada kondisi *bump*, *roll*, dan *steered*. Selanjutnya data akan muncul dalam bentuk angka dan grafik. Kemudian hasil kinematika

suspensi akan diputuskan berdasarkan target kinematika suspensi yang telah ditentukan.

2. Teknik Analisis Kekuatan Komponen Sistem Suspensi

Analisis *finite element* dilakukan menggunakan perangkat lunak *Solidworks*. Sebelum melakukan simulasi pada sistem suspensi mobil FG16, ada tahapan yang perlu dilakukan yaitu menentukan *fixture*, lokasi penerapan gaya, dan menghitung perkiraan gaya maksimal yang akan beraksi pada komponen suspensi saat kondisi *driving*. Peletakan *fixture* dan gaya dapat dilihat pada gambar 3. Kondisi *driving* meliputi kondisi saat *bump*, akselerasi, mengerem, dan berbelok. Kemudian data akan diperoleh dalam bentuk kontur *stress* dan nilai faktor keamanan komponen sistem suspensi. Selanjutnya desain akan diputuskan berdasarkan nilai faktor keamanan minimal dari target yang telah ditentukan.



Gambar 3. Peletakan *Fixture* dan Gaya pada Suspensi Depan di Simulasi *Solidworks*

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Deskripsi Data Sistem Suspensi Mobil FG16

Desain sistem suspensi mobil FG16 telah dirancang sesuai target desain yang telah ditetapkan sebelumnya. Hasilnya sistem suspensi mobil FG16 memiliki desain sebagai berikut:

- *Wheelbase* 1600 mm.
- *Track width* depan 1150 mm dan *track width* belakang 1100 mm.
- Ban menggunakan Hoosier ukuran 6,0/18,0-10 *inch* dengan

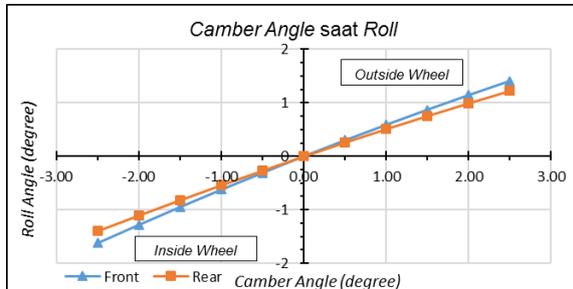
compoundLC0 pada roda depan dan R25B pada roda belakang.

- Velg depan dan belakang menggunakan Keizer aluminum *wheel shells* diameter 10inch dengan lebar 6 *inch*.
- Suspensi depan menggunakan tipe *Wishbone Unequal and Non Parallel Link with Pull Rod*.
- Suspensi belakang menggunakan tipe *Wishbone Unequal and Non Parallel Link with Push Rod*.
- *Travel* suspensi depan memiliki *jounce* 30 mm dan *rebound* 30 mm.
- *Travel* suspensi belakang memiliki *jounce* 30 mm dan *rebound* 30 mm.
- *Wheel rate* suspensi depan dan belakang 50,661 N/mm.
- *Spring rate* suspensi depan dan belakang 61,3 N/mm.
- *Roll rate* suspensi depan 584,38 Nm/deg *roll*.
- *Roll rate* suspensi belakang 534,67 Nm/deg *roll*.
- *Ride frequency* depan dan belakang 3,85 Hz..
- *Motion ratio* suspensi depan dan belakang 1,1.
- *Ride camber* roda depan -0,042 deg/mm.
- *Ride camber* roda belakang -0,052 deg/mm
- *Roll camber* roda depan 0,60 deg/deg *roll*.
- *Roll camber* roda belakang 0,52 deg/deg *roll*.
- *Roll Gradient* 0,483 deg/g.
- *Bump steer* 0,012 degree/mm.
- *Adjustable toe* pada roda depan dan belakang.
- *Adjustable camber* 0° sampai 4° *via shim* pada *upright* depan dan belakang.
- *Adjustable anti-dive dan anti-squat*.
- Tinggi *roll center* depan 30,95 mm di atas permukaan tanah.
- Tinggi *roll center* belakang 46,59 mm di atas permukaan tanah..

- *Caster* 4°, *caster trail* 10°, dan *caster offset* 6 mm.
- *Kingpin inclination* 10°, *kingpin offset* 47,55 mm, dan *scrub radius* 8,2 mm
- Faktor keamanan komponen minimal 1,21.
- Berat sistem suspensi 48,8 kg.

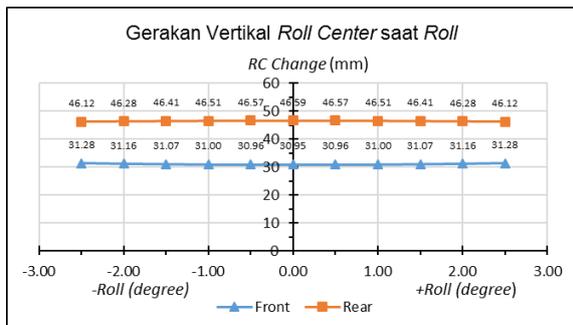
2. Analisis Kinematika Suspensi Mobil FG16

Analisis kinematika suspensi dilakukan pada kondisi *bump*, *roll*, dan *steered*. Data kinematika merupakan hasil perubahan geometri suspensi berdasarkan gerakan sistem suspensi saat bekerja.



Gambar 4. Perubahan *Camber Angle* saat Roll

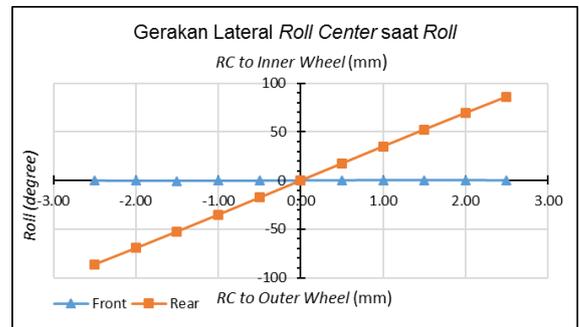
Berdasarkan gambar 4 menunjukkan bahwa mobil FG16 memiliki *roll camber* roda depan yang lebih besar daripada *roll camber* roda belakang. Semakin besar *roll*, *camber* roda sisi luar akan cenderung semakin positif dan sebaliknya *camber* roda sisi dalam akan cenderung semakin negatif. Rata-rata *roll camber* depan adalah 0,60 deg/deg sedangkan rata-rata *roll camber* belakang adalah 0,52 deg/deg.



Gambar 5. Perubahan *Roll Center* Secara Vertikal saat Roll

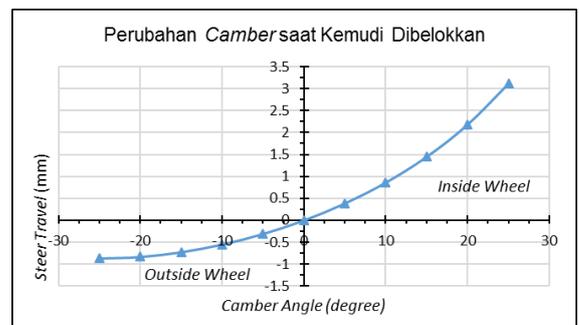
Mobil FG16 memiliki letak *roll center* depan berada pada 30,95 mm di atas

permukaan lintasan atau 13,5% dari tinggi *center of gravity* mobil. Letak *roll center* belakang berada pada 46,59 mm di atas permukaan lintasan atau 20,25% dari tinggi *center of gravity* mobil. Letak *roll center* belakang lebih tinggi daripada *roll center* depan. Berdasarkan gambar 5 menunjukkan bahwa gerakan vertikal *roll center* depan dan belakang saat *roll* relatif konstan. Rata-rata perubahan letak vertikal *roll center* depan yaitu 0,077 mm/deg sedangkan rata-rata perubahan letak vertikal *roll center* belakang yaitu 0,035 mm/deg.



Gambar 6. Perubahan *Roll Center* secara Lateral saat Roll

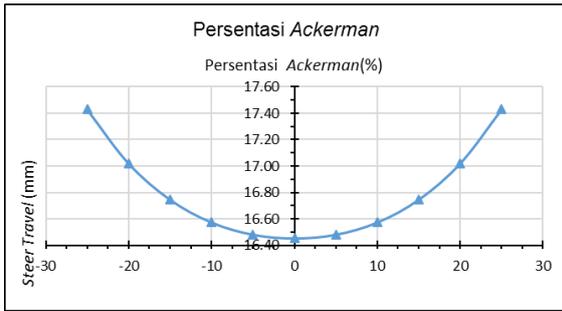
Berdasarkan gambar 6, perubahan *roll center* depan secara lateral jauh lebih kecil daripada *roll center* belakang. Rata-rata gerakan lateral *roll center* depan 0.19 mm/deg sedangkan *roll center* belakang 34.96 mm/deg. Gerakan lateral *roll center* depan saat *roll* cenderung konstan, sebaliknya gerakan lateral *roll center* belakang saat *roll* cenderung berubah ke arah roda sisi dalam.



Gambar 7. Perubahan *Camber* Roda Depansaat Kemudi Dibelokkan

Berdasarkan gambar 7, perubahan *camber* roda depan saat kemudi

dibelokkan cenderung menjadi negatif untuk roda sisi luar dan cenderung menjadi positif untuk roda sisi dalam. Rata-rata perubahan *camber* roda sisi luar 0,099 deg/mm sedangkan pada roda sisi dalam 0,048 deg/mm. Kondisi ini diukur berdasarkan langkah dari *rack* kemudi saat kemudi dibelokkan dan bukan pada saat kendaraan melaju di tikungan atau berbelok di tikungan.

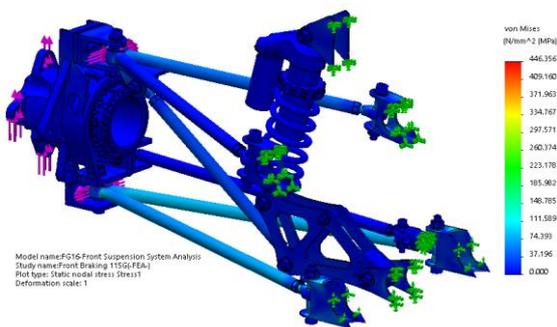


Gambar 8. Perubahan Persentasi Ackerman

Berdasarkan gambar 8, mobil FG16 memiliki geometri *Ackerman* sebesar 17,43% saat kemudi dibelokkan maksimal.

3. Finite Element Analysis Sistem Suspensi Mobil FG16

Analisis *finite element* pada sistem suspensi dilakukan berdasarkan pada kondisi *driving* yang meliputi, kondisi *bump*, akselerasi, pengereman, dan berbelok.



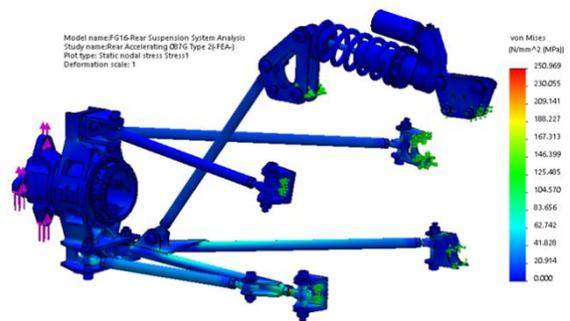
Gambar 9. Analisis *Suspension Linkages* Depan saat Usaha Pengereman

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan seperti pada gambar 9, diketahui bahwa setiap komponen sistem suspensi depan memiliki faktor keamanan di atas 1,21 kecuali *lower arm* pada kondisi pengereman yang hanya memiliki faktor keamanan sesuai dengan target minimal. Sedangkan komponen yang memiliki

faktor keamanan tertinggi adalah *wheel hub*. Nilai faktor keamanan komponen suspensi depan pada setiap kondisi simulasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Faktor Keamanan Komponen Suspensi Depan

Komponen	Factor of Safety			
	Bump	Braking	Accel.	Corner.
Lower Arm	5,51	1,21	3,15	3,27
Upper Arm	1,62	1,85	3,16	1,77
Push Rod	1,82	2,62	4,60	2,55
Bell Crank	7,60	11,32	19,69	10,42
Lower Arm Mounting	8,94	1,26	4,19	3,56
Upper Arm Mounting	2,81	2,05	4,61	6,49
Damper Mounting	3,45	5,07	8,69	4,73
Bell Crank Mounting	2,32	3,22	5,48	3,10
Steering Arm	5,49	2,13	3,66	3,36
Knuckle Arm	32,67	5,38	8,54	7,48
Upright	4,81	6,36	10,36	4,32
Wheel Hub	25,01	9,07	49,29	32,88



Gambar 10. Analisis Komponen Suspensi Belakang saat Akselerasi

Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan seperti pada gambar 10, diketahui bahwa setiap komponen sistem suspensi belakang memiliki faktor keamanan di atas 1,21. Faktor keamanan terendah dimiliki oleh komponen *lower arm* pada kondisi akselerasi, sedangkan komponen yang memiliki faktor keamanan tertinggi adalah *wheel hub*. Nilai faktor keamanan komponen suspensi belakang pada setiap kondisi simulasi dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Faktor Keamanan Komponen Suspensi Belakang

Komponen	Factor of Safety			
	Bump	Braking	Accel.	Corner.
Lower Arm	1.38	1.84	1.27	1.36
Upper Arm	5.48	3.83	3.39	2.61
Push Rod	2.59	7.26	5.12	4.69
Bell Crank	7.03	20.05	12.34	11.36
Lower Arm Mounting	4.25	1.88	2.77	4.17
Upper Arm Mounting	8.99	4.48	3.96	2.96
Damper Mounting	6.54	17.65	10.19	9.41
Upright	3.26	8.48	3.64	4.67
Wheel Hub	21.23	15.53	19.56	18.92

4. Pembahasan

a. Pembahasan Kinematika Suspensi

Berdasarkan hasil evaluasi tahun 2015, mobil F15 memiliki respon transisi yang lambat, *chassis roll* yang berlebihan, dan keausan ban yang tidak merata, sehingga kemampuan manuver yang tidak begitu baik. Hal tersebut dapat disebabkan dari nilai *roll gradient*, perubahan *camber* saat berbelok, dan letak *roll center* depan dan belakang, serta geometri *Ackerman*.

Mobil FG16 dirancang memiliki *roll gradient* yang lebih rendah daripada mobil F15. *Roll gradient* mobil FG16 yaitu 0,483 deg/g yang artinya hambatan *roll* mobil FG16 termasuk dalam kategori tinggi untuk mobil dengan *downforce* rendah. Hal tersebut sesuai dengan teori yang diutarakan oleh Matt Giaraffa (2015) yang mengatakan bahwa semakin rendah *roll gradient* akan menghasilkan mobil yang lebih kaku saat *roll*. Semakin kaku mobil akan memiliki respon yang cepat pada saat transisi terutama saat melintasi *chicanes* tetapi semakin kecil *grip* yang diperoleh saat berbelok. Tujuannya supaya mobil FG16 memiliki respon yang cepat pada saat transisi dan mengurangi *chassisroll* untuk memperbaiki kemampuan manuver.

Perubahan *camber* saat berbelok juga telah didesain sejalan dengan teori yang diutarakan oleh Yukio Shimada (2007: 65) supaya roda sisiluar tidak mengalami perubahan *camber* positif yang besar dan roda sisi dalam tidak mengalami perubahan *camber* negatif yang besar untuk mempertahankan posisi roda tetap tegak lurus terhadap lintasan. Perubahan *camber* saat berbelok terutama pada roda depan selain dapat dicapai dengan nilai *roll camber* yang rendah juga tergantung pada perubahan

camber saat kemudi dibelokkan. Kombinasi dari perubahan *camber* roda depan tersebut akan mengurangi perubahan *camber* saat berbelok yang akan menghasilkan *grip* lebih optimal.

Mobil F15 memiliki letak *roll center* yang sangat rendah dan hampir sama antara *roll center* depan dan belakang. Letak *roll center* depan mobil F15 berada pada 10,48 mm di atas permukaan lintasan atau 4,2% dari tinggi *center of gravity* mobil. Sedangkan letak *roll center* belakang mobil F15 berada pada 13,26 mm di atas permukaan lintasan atau 5,3% dari tinggi *center of gravity* mobil.

Berdasarkan indentifikasi masalah di atas mobil F15 memiliki *roll center* yang sangat rendah. Hal tersebut tidak sejalan dengan teori yang diutarakan oleh Yukio Shimada (2007: 66) yang menyarankan mobil FSAE memiliki tinggi *roll center* depan antara 30 sampai 50 mm dan tinggi *roll center* belakang 50 sampai 60 mm. Oleh karena itu mobil FG16 dirancang memiliki letak *roll center* depan berada pada 30,95 mm di atas permukaan lintasan atau 13,5% dari tinggi *center of gravity* mobil. Sedangkan letak *roll center* belakang berada pada 46,59 mm di atas permukaan lintasan atau 20,25% dari tinggi *center of gravity* mobil.

Menurut Scalabroni (2013) letak *roll center* yang rendah akan menghasilkan lebih banyak *grip* saat berbelok di tikungan panjang dan memelihara tapak ban dengan lebih baik, sedangkan letak *roll center* yang tinggi akan menghasilkan mobil yang lebih responsif saat melintasi *chicanes* dan *grip* yang lebih baik saat mengerem. Oleh karena itu penetapan letak *roll center* mobil FG16 didasarkan pada kompetisi FSAE yang mengharuskan mobil memiliki

grip yang baik saat *skid-pad*, lincah saat *autocross* dan mampu memelihara *thread* ban saat *endurance*.

Perubahan letak *roll center* secara vertikal dan lateral pada mobil FG16 juga dibuat agar sekecil mungkin dan tidak begeser ke arah roda luar terutama *roll center* bagian depan. Hal tersebut sejalan dengan teori yang diutarakan oleh Rouelle (2016: 93-95) yang bertujuan untuk mengurangi terjadinya efek *jacking* dan supaya *dampers* roda sisi luar mengalami kompresi dan *dampers* roda sisi dalam mengalami *rebound* pada kondisi *roll* saat mobil berbelok untuk menghasilkan *grip* yang optimal, sehingga menambah kemampuan manuver mobil.

Ditinjau dari geometri *Ackerman*, mobil FG16 dan F15 memiliki perbedaan yang sangat signifikan. Geometri *Ackerman* mobil F15 dirancang memiliki persentasi *Ackerman* yang tinggi yaitu 95,54% saat kemudi dibelokkan maksimal. Sedangkan geometri *Ackerman* mobil FG16 dirancang hanya memiliki persentasi *Ackerman* sebesar 17,43% saat kemudi dibelokkan maksimal. Hal ini dikarenakan pada mobil F15 dengan nilai *steering geometry Ackerman* yang besar sering terjadi *understeer*. Oleh karena itu untuk mengatasi hal tersebut geometri *Ackerman* mobil FG16 dirancang dengan nilai kecil atau mendekati paralel. Hal tersebut dilakukan supaya *slip angle* roda depan dan belakang diharapkan memiliki nilai yang sama atau tidak jauh berbeda saat berbelok untuk dapat meminimalkan *understeer*. Selain itu, rancangan geometri kemudi mobil FG16 juga sejalan dengan teori yang diutarakan oleh Miliken (1995: 713-715) yang menyatakan bahwa geometri *Ackerman* biasanya dipakai untuk mobil dengan

lateral akselerasi yang rendah saat berbelok seperti pada mobil penumpang. Sedangkan untuk mobil dengan lateral akselerasi yang tinggi saat berbelok seperti pada mobil balap, geometri kemudi yang sesuai adalah paralel atau anti *Ackerman*. Hal tersebut karena geometri paralel atau *anti-Ackerman* akan menghasilkan *slip angle* yang relatif sama pada masing-masing roda.

b. Pembahasan *Finite Element Analysis* Sistem Suspensi

Pembahasan analisis *finite element* pada sistem suspensi mobil FG16 berdasarkan pada setiap kondisi *driving* adalah sebagai berikut:

- Hasil analisis pada kondisi *bump* menunjukkan bahwa komponen yang bekerja paling berat pada suspensi depan adalah *upper arm* dan *pull rod* sedangkan pada suspensi belakang adalah *lower arm* dan *push rod*. Hal tersebut disebabkan gaya *bump* ditransfer melalui kedua komponen tersebut.
- Hasil analisis pada kondisi pengereman menunjukkan bahwa komponen sistem suspensi depan dan belakang yang terkena beban paling besar adalah *lower arm*. Hal tersebut disebabkan oleh gaya dan momen yang dihasilkan saat usaha pengereman.
- Hasil analisis pada kondisi akselerasi menunjukkan bahwa pada suspensi depan *lower arm* dan *upper arm* terkena beban yang sama sedangkan pada suspensi belakang komponen yang terkena beban paling besar adalah *lower arm*. *Lower arm* belakang terkena beban paling besar karena letak titik *lower arm* pada *upright* tidak segaris terhadap sumbu vertikal roda.

d. Hasil analisis pada kondisi berbelok menunjukkan bahwa pada suspensi depan komponen yang terkena beban paling besar adalah *upper arm* dan *upright* sedangkan pada suspensi belakang adalah *lower arm* dan *upright*. Hal tersebut dikarenakan pada saat berbelok terutama pada roda luar terjadi kondisi *bump* dan kondisi *roll*. Kondisi *bump* menyebabkan pembebanan pada komponen yang meneruskan gaya kepada *damper*, selain itu komponen tersebut juga terkena gaya reaksi dari gaya belok mobil. Kondisi *roll* menyebabkan gaya sentrifugal sehingga pada roda luar menyebabkan bagian atas *upright* terkena gaya ke arah luar dan bagian bawah *upright* terkena gaya ke arah dalam.

Berdasarkan hasil analisis komponen sistem suspensi mobil FG16 melalui *Finite Element Analysis* (FEA), secara keseluruhan menunjukkan bahwa komponen sistem suspensi memiliki faktor keamanan minimal 1,21, yang artinya desain komponen sistem suspensi sesuai dengan target yang diharapkan serta aman dan dapat diandalkan pada setiap kondisi *driving*.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil perancangan sistem suspensi mobil FG16 dan hasil analisis yang diperoleh yang telah dipaparkan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem suspensi mobil FG16 telah dirancang sesuai dengan regulasi FSAE 2016 dengan berat keseluruhan sistem suspensi yang lebih ringan daripada sistem suspensi mobil F15. Berat total sistem suspensi mobil FG16 yaitu 48,8 kg dengan reduksi berat 19,17% dari berat total sistem suspensi mobil F15. Rancangan sistem suspensi mobil FG16 juga telah dirancang

memiliki *spring rate* 61,3 N/mm yang menghasilkan *roll gradient* 0,483 deg/g, sehingga memiliki karakter respon transisi yang lebih cepat daripada mobil F15.

2. Analisis kinematika suspensi menunjukkan bahwa secara keseluruhan sistem suspensi mobil FG16 telah dirancang memiliki *roll camber* yang lebih rendah, serta letak dan gerakan *roll center* yang lebih baik daripada mobil F15. Hal tersebut menunjukkan bahwa mobil FG16 memiliki kemampuan yang lebih baik dalam bermanuver dibanding mobil F15. Selain itu geometri kemudi mobil FG16 juga telah dirancang dengan nilai *Ackerman* yang rendah atau mendekati paralel untuk mengurangi terjadinya *understeer*.
3. Analisis kekuatan material komponen sistem suspensi mobil FG16 melalui *Finite Element Analysis* (FEA) menunjukkan bahwa komponen sistem suspensi memiliki faktor keamanan minimal 1,21 yang berarti komponen tetap aman pada setiap kondisi *driving* dan sesuai target minimal faktor keamanan yang telah ditetapkan.

Rekomendasi Pengembangan Sistem Suspensi Lebih Lanjut

Sistem suspensi mobil FG16 dapat dikembangkan dari sisi berikut:

1. **Material**
Material yang digunakan pada mobil FG16 bisa diganti dengan material yang lebih kuat tetapi ringan. Misalnya material *suspension linkages* dapat diganti dengan material *carbon fiber*, aluminium, atau *steel* dengan *grade* yang lebih tinggi dari STKM 11A, sehingga mampu menghasilkan faktor keamanan material komponen yang lebih tinggi dengan bobot yang lebih ringan.
2. **Anti-Roll Bar**
Penambahan *Anti-roll bar* untuk mengurangi *chassis roll* dan meningkatkan performa manuver mobil.
3. **Wheel Alignment dan Setingan Damper**

Wheel alignment suspensi mobil FG16 dapat diseting atau diperbaiki sesuai *feedback* dari *driver* untuk memperoleh setingan yang sesuai. Begitu juga dengan *dampers* Ohlins TTX 25 Mkll yang dapat disesuaikan dengan keinginan *driver* dan karakteristik lintasan untuk memperoleh setingan yang tepat di setiap kategori perlombaan pada *dynamic event*.

4. Roda

Velg dan ban pada mobil FG16 dapat diganti dengan ukuran yang lebih lebar untuk mengoptimalkan *grip*, sehingga menambah kemampuan manuver mobil.

5. Penambahan Sensor

Sistem suspensi mobil FG16 dapat ditambahkan beberapa sensor dan data *logger* untuk memperoleh data *acquisition* sebagai dasar untuk memperoleh setingan mobil yang sesuai, serta data guna pengembangan sistem suspensi yang akan datang.

Saran

Berdasarkan hasil perancangan dan pembahasan yang telah disampaikan, maka perancang memiliki saran sebagai berikut:

1. Sebaiknya untuk memperoleh data dilapangan dan data pada mobil guna melakukan perbaikan desain untuk mobil selanjutnya perlu adanya alat ukur yang memadai dan sensor-sensor pada mobil seperti *accelerometer*, *suspension travel sensor*, sensor temperatur ban, dan lain sebagainya.
2. Universitas Negeri Yogyakarta harus menjadi anggota di *Tire Test Consortium* milik Miliken *Research Company* untuk mendapatkan data ban yang sering digunakan pada kompetisi FSAE.
3. Perlu adanya fasilitas dan alat uji yang memadai terutama untuk menguji

komponen sistem suspensi secara nyata. Diantaranya alat *dyno shock* untuk mengetahui karakteristik *dampers*, timbangan untuk mengukur letak *center of gravity* dan distribusi berat kendaraan, dan *spooring equipment* untuk mengetahui dan menyeting *wheel alignment* mobil.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. (2015). Formula SAE International Rules 2016. Diakses dari <http://www.jsae.or.jp/formula/en/> pada tanggal 1 Desember 2015, Jam 14.25 WIB.
- Matt Giaraffa. (2015). Technical Tip: Spring & Dampers, Part Two. Diakses dari <http://www.optimumg.com/technical/technical-papers/> pada tanggal 8 Juni 2015, jam 15.15 WIB.
- Milliken, William F. & Milliken, Douglas L. (1995). *Race Car Vehicle Dynamics*, USA: SAE, Inc.
- Norton, Robert L. (1999). *Design of Machinery: An introduction to Synthesis and Analysis of Mechanism and Machines 2nd Edition*. United State of America: McGraw-Hill.
- Rouelle, Claude. (2016). *Race Car Engineering and Data Acquisition Seminar*. Diakses dari http://www.theoryinpracticeengineering.com/resources/rouelle_seminar_33M.pdf pada tanggal 19 Desember 2016, jam 14.05 WIB.
- Scalabroni, Enrique. (2013). *Front Roll Center* diakses dari https://www.youtube.com/watch?v=xq_h01JhEjMU pada tanggal 25 Oktober 2016, jam 8.23 WIB.
- Yukio Shimada, et. al. (2007). *Motor Car Development/Fabrication Guide For Students and Junior Engineers*. Japan: Goro Obinata.