

ANALISA DAN KAJI PARAMETER DESAIN SUSPENSİ MCPHERSON TERHADAP PERILAKU KENDARAAN MENGGUNAKAN METODE MULTI BODY DYNAMIC

*Jonathan Banta Putera Ketaren¹, Toni Prahasto², Ismoyo Haryanto²

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: jonathan.ketaren@gmail.com

Abstrak

Dengan meningkatnya pertumbuhan warga di daerah perkotaan, maka dibutuhkan city car yang compact dalam memobilisasi kegiatan masyarakat di perkotaan dengan baik. Keamanan dan kenyamanan dari city car menjadi hal yang harus diperhatikan dalam mendesain sebuah kendaraan. Suspensi merupakan komponen dari sebuah kendaraan yang berperan penting dalam menjaga kenyamanan dan keamanan dari penumpang. Sistem suspensi yang banyak digunakan oleh city car adalah sistem suspensi MacPherson dengan konfigurasi penggerak roda depan. Handling kendaraan menjadi faktor yang penting dalam mendesain sebuah sistem suspensi. Ketika sebuah sistem suspensi sedang beroperasi terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi handling dari sistem suspensi, yaitu lateral acceleration, roll angle, vertical tire force, steering wheel torque, yaw rate, understeer dan load transfer. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain sistem suspensi macpherson, kemudian dilanjutkan dengan simulasi untuk menganalisis handling sistem suspensi pada saat sistem suspensi beroperasi. Dari hasil analisis handling sistem suspensi akan diberikan optimasi pada tingkat kekakuan suspensi serta pemberian stabilizer bar. Hasil simulasi yang telah dilakukan didapatkan dengan kekakuan suspensi dengan spesifikasi pada suspensi depan dengan coil spring $k=30$ N/mm dan strut damper 1 Ns/m, pada suspensi belakang dengan coil spring $k=30$ N/mm dan strut damper 1 Ns/m. Hasil yang didapatkan adalah pada lateral acceleration berada diantara 0,4217 G dan -0,2958 G, yaw rate berada di antara 14,2098 deg/sec dan -9,72899 deg/sec, momen yang diberikan pada roda kemudi diantara 11,2619 Nm dan -6,5767, serta roll angle yang terjadi diantara 2,5494 deg dan -1,8005 deg. Hasil simulasi ini akan digunakan untuk menentukan strategi optimasi yang diberikan untuk performa handling kendaraan. Strategi optimasi yang diberikan adalah dengan meningkatkan kekakuan suspensi menjadi pada suspensi depan dengan coil spring $k=32$ N/mm dan strut damper 2 Ns/m, pada suspensi belakang dengan coil spring $k=30$ N/mm dan strut damper 1 Ns/m serta penambahan stabilizer bar berukuran OD=20 m. Hasil optimasi yang didapatkan adalah pada lateral acceleration berada diantara 0,4073 G dan -0,2958 G, yaw rate berada di antara 13,358 deg/sec dan -9,151 deg/sec, momen yang diberikan pada roda kemudi diantara 10,2292 Nm dan -7,5471, serta roll angle yang terjadi diantara 1,3915 deg dan -1,1378 deg.

Kata kunci: city car; handling; MacPherson; ride quality; suspensi

Abstract

With the increasing growth of residents in urban areas, a compact city car is needed to properly mobilize community activities in urban areas. The safety and comfort of a city car is something that must be considered in designing a vehicle. Suspension is a component of a vehicle that plays an important role in maintaining the comfort and safety of passengers. The suspension system that is widely used by city cars is the MacPherson suspension system with a front-wheel drive configuration. Vehicle handling is an important factor in designing a suspension system. When a suspension system is operating, there are several parameters that affect the handling of the suspension system, namely lateral acceleration, roll angle, vertical tire force, steering wheel torque, yaw rate, understeer and load transfer. This study aims to design the Macpherson suspension system, then proceed with simulations to analyze the handling of the suspension system when the suspension system is operating. From the results of the analysis of the handling of the suspension system, optimization will be given to the level of suspension stiffness and the provision of a stabilizer bar. The simulation results that have been carried out are obtained with suspension stiffness with specifications on the front suspension with coil spring $k=30$ N/mm and strut damper 1 Ns/m, on the rear suspension with coil spring $k=30$ N/mm and strut damper 1 Ns/m. The results obtained are that the lateral acceleration is between 0.4217 G and -0.2958 G, the yaw rate is between 14.2098 deg/sec and -9.72899 deg/sec, the moment given to the steering wheel is between 11.2619 Nm and -6.5767, as well as roll angle that occurs between 2.5494 deg and -1.8005 deg. The results of this simulation will be used to determine the optimization strategy given for vehicle handling performance. The optimization strategy given is to increase the stiffness of the suspension to the front suspension with coil spring $k=32$ N/mm and strut damper 2 Ns/m, on the rear suspension with coil spring $k=30$ N/mm and strut damper 1 Ns/m and addition of stabilizer bar

measuring $OD=20$ m. The optimization results obtained are that the lateral acceleration is between 0.4073 G and -0.2958 G, the yaw rate is between 13.358 deg/sec and -9.151 deg/sec, the moment applied to the steering wheel is between 10.2292 Nm and - 7.5471, as well as a roll angle that occurs between 1.3915 deg and -1.1378 deg.

Keywords: city car; handling; MacPherson; ride quality; suspension

1. Pendahuluan

Kendaraan merupakan salah satu alat transportasi yang banyak digunakan oleh manusia dalam melakukan perpindahan dari satu tempat ke tempat lain secara cepat dan aman. Terutama pada kendaraan roda empat khususnya mobil penumpang yang sudah menjadi kebutuhan bagi manusia untuk memudahkan segala jenis aktivitas. Kenyamanan berkedendara sudah menjadi tuntutan bagi pengendara. Kondisi ideal yang ingin diperoleh dalam kabin kendaraan yang diam ditempat walaupun ada gangguan yang disebabkan ketidak rataan jalan. Tetapi kondisi ini tidaklah mungkin dicapai, sehingga mencari cara untuk meminimumkan efek gangguan yang berupa ketidak rataan jalan dengan memasang sistem suspensi diantara roda dan kendaraan

Suspensi merupakan salah satu bagian yang memegang peran penting dari mobil untuk memperoleh kenyamanan. Suspensi memiliki fungsi sebagai penghubung antara body dengan roda suatu kendaraan serta memastikan roda tetap melakukan kontak dengan jalan. Dengan adanya suspensi getaran mesin dan ketidak rataan jalan bisa diredam, sehingga saat berjalan kendaraan menerima kejutan dari permukaan jalan akan diteruskan ke lower arm maupun upper arm, lalu gaya tersebut ditahan oleh pegas dan mengakibatkan terjadinya pemendekan dan pemanjangan pegas, kemudian gaya pemegasan diperhalus oleh peredam getaran shock breaker agar tidak terjadi oksilasi berlebihan. Hal ini memungkinkan roda rodak tetap menapak pada jalan. Kenyamanan suatu kendaraan sangat dipengaruhi oleh bentuk dan tipe suspensinya. Selain itu penempatan suspensi juga memiliki syarat tertentu yang tidak boleh sembarangan agar kenyamanan suatu kendaraan maupun umur suspensinya menjadi lebih baik. Sistem suspensi MacPherson paling banyak digunakan terutama mobil perkotaan (city car), bentuknya sederhana terdiri dari dua lengan yaitu lengan atas, dan lengan bawah yang merancang secara melintang terhadap sumbu longitudinal. Dalam penelitian ini suspensi yang lebih condong pada mobil perkotaan (city car) karena lebih banyak pemakainya. Untuk merancang sistem suspensi dengan kinerja optimal perlu pemahaman yang lengkap tentang perilaku sistem suspensi tersebut dan mempelajari efek dari parameter, seperti roll angle, yaw rate dan lateral acceleration. Sehingga dari uraian diatas dapat diketahui bahwa suspensi yang bagus adalah suspensi yang mampu mereduksi gangguan sebanyak mungkin sehingga pengendara tidak merasakan gangguan berarti dari luar [1].

Dalam penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mendapatkan performa suspensi yang diharapkan sesuai dengan kebutuhan beban. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menaikan performa handling kendaraan. Pada penelitian ini dilakukan guna untuk meneliti sistem suspensi double wishbone terhadap perilaku kendaraan mobil perkotaan. Modelling dan Analisa gerak pada suspensi pada penelitian ini menggunakan software Altair Hyperworks 2019.

2. Dasar Teori dan Metode Penelitian

2.1 Dasar Teori

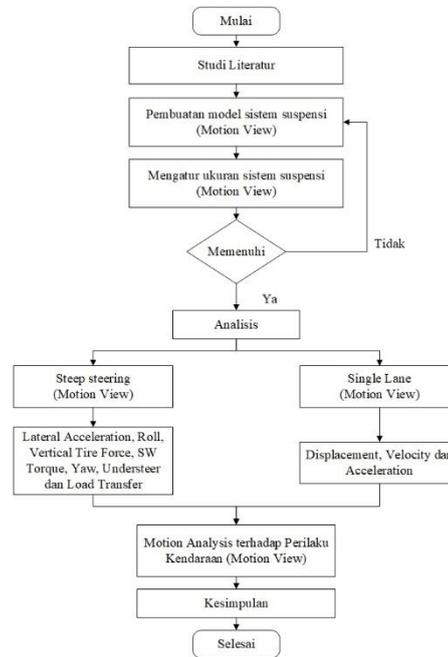
Sistem suspensi berfungsi dalam meredam getaran akibat dari kontur jalan yang tidak rata seperti melewati polisi tidur, jalan berlubang dan jalan berbatu. Sehingga dapat meningkatkan kenyamanan dan pengendalian kendaraan. Sistem suspensi kendaraan juga menjadi faktor yang memberikan traksi yang optimal pada ban terhadap jalan. Dengan asumsi suspensi dapat memberikan keamanan yang memadai, Selain meredam kejutan dan getaran, suspensi juga mempunyai berfungsi sebagai penghubung body dan roda. Suspensi berperan sebagai penyeimbang saat menahan badan mobil saat bergerak ataupun berhenti. Sehingga dari uraian diatas dapat diketahui bahwa suspensi yang bagus adalah suspensi yang mampu mereduksi gangguan diatas sebanyak mungkin sehingga pengendara atau driver tidak merasakan gangguan berarti dari luar [5] Dalam pengujian ini menggunakan software altair Motion view digunakan untuk menguji parameter suspensi untuk mengubah dengan pendekatan kendaraan dasar asli[6]. 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. Suspensi jenis ini memiliki keuntungan yaitu camber recovery yang baik, lebih nyaman karena efek histerisis yang lebih kecil dan memiliki keuntungan secara aerodinamik dan kinematic[7]. Ketika suspensi sedang beroperasi, terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi performa pengendalian dari kendaraan, seperti :

- Lateral acceleration adalah percepatan vektor suatu titik dalam kendaraan dalam arah y. Percepatan lateral positif dari kiri ke kanan, dari sudut pandang pengemudi ketika duduk di kendaraan menghadap ke arah perjalanan kendaraan maju.
- Understeer adalah kondisi saat mobil sulit berbelok bahkan tetap meluncur lurus meskipun roda kemudi sudah diputar. Understeer dipengaruhi oleh side slip angle. Understeer terjadi Ketika front side slip angle lebih besar dibandingkan dengan rear side slip angle
- Roll angle merupakan gerakan mobil terhadap sumbu longitudinal, menyebabkan perindahan berat dari dalam ke sisi luar mobil. Sehingga roll angle ini yang menentukan seberapa besar suatu mobil mengalami limbung. Ilustrasi dari suatu mobil yang limbung dapat dilihat pada gambar di sebelah kanan atas

d. Yaw angle adalah gerakan bodi kendaraan ke kanan dan ke kiri terhadap titik tengah kendaraan yaw angle ini menjadi parameter menunjukkan pengendalian dari suatu mobil, apakah mobil tersebut mengikuti respon yang ditentukan oleh pengendara terhadap suatu lintasan.

2.2 Diagram Alir Penelitian

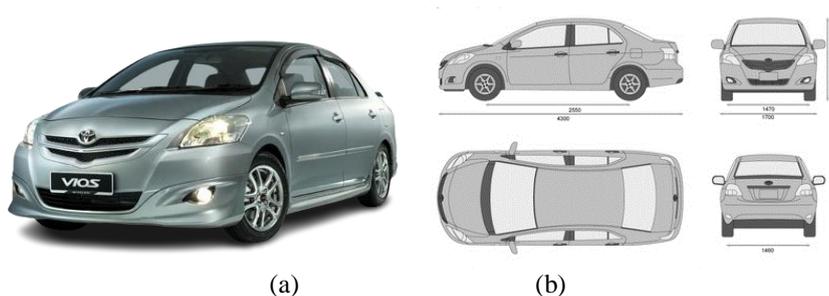
Metodologi penelitian yang diterapkan dalam melakukan perancangan sistem suspensi MacPherson diuraikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.3 Perancangan Model Kendaraan

Model kendaraan yang dipakai dalam penelitian ini adalah mobil Toyota Vios 2008 seperti pada Gambar 2 (a) (b). Perancangan desain model kendaraan menggunakan Altair *Motion View* 2019 dengan menggunakan pendekatan dari desain aslinya. Pada pengujian ini, desain suspensi dibuat 6 model, yang modifikasinya dibedakan pada tingkat kekakuan sistem suspensi dan penambahan stabilizer bar pada sistem suspensi double wishbone. Untuk data variasi kendaraan bisa dilihat di Tabel 1.



Gambar 2. (a) Toyota Vios 2008, (b) Drawing Desain Permodelan

Tabel 1. Variasi Model Pengujian

Model	Front		Rear		Stabilizer OD (mm)
	Coil spring (k-N/mm)	Strut damper (c-Ns/m)	Coil spring (k- N/mm)	Strut damper (c- Ns/m)	
I	30	1	30	1	-
II	28	1	28	1	-
III	32	1	32	1	-
IV	32	2	32	2	-
V	32	2	30	2	-
VI	32	2	30	2	20

2.4 Metode Pengujian

Pada penelitian ini, terdapat 2 metode pengujian yakni pengujian step steer dan pengujian single lane change. Untuk masing – masing pengujian, dijelaskan dibawah ini :

a. Pengujian step steer

pada pengujian ini steering wheel akan diputar secara konstan untuk mencapai sudut tertentu dengan kecepatan mobil yang ditentukan, sehingga didapatkan beberapa parameter yang menentukan performa handling dari sebuah mobil. Sudut pemutaran kemudi yang diberikan secara konstan adalah 0° sampai dengan 60° .

b. Pengujian *single lane change*

Manuver mengemudi dengan kondisi kendaraan berpindah dari satu lajur ke lajur lain di mana kedua lajur memiliki arah yang sama. Spesifikasi parameter pengujian yang digunakan dapat dilihat pada table dibawah.

Tabel 2. Parameter pengujian *single lane change*.

Nama Data	Keterangan
Kecepatan	80 km/j
Cone Lateral Spacing	3,75 m
Lebar Jalur	3,75 m

3. Hasil dan pembahasan

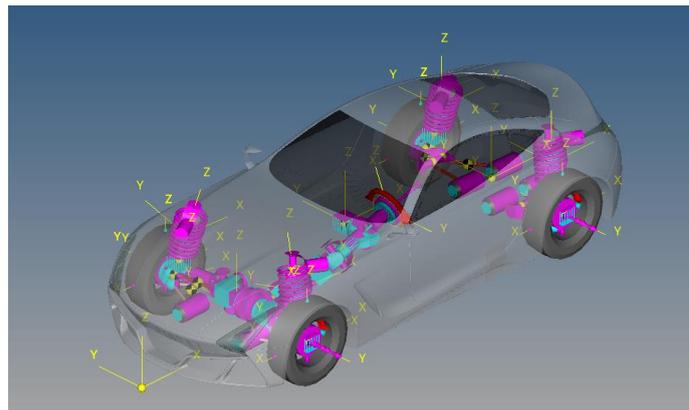
3.1 Hasil Perancangan

Rangka monocoque bermodelkan *city car* dipilih sebagai beban yang akan ditopang oleh suspensi yang dirancang berdasarkan referensi dengan spesifikasi Panjang 4300 mm, lebar 1700 mm, wheelbase 2550 mm, dan track width 1500 mm. Dimensi kendaraan yang menjadi dasar perancangan model suspensi MacPherson. Spesifikasi referensi dari perancangan ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Spesifikasi Referensi Kendaraan.

Spesifikasi Toyota Vios	
GVWR, kg	1315
Wheelbase, mm	2550
Track Width, mm	1470
Ukuran Ban	205/60/R15
Kapasitas penumpang	5 orang

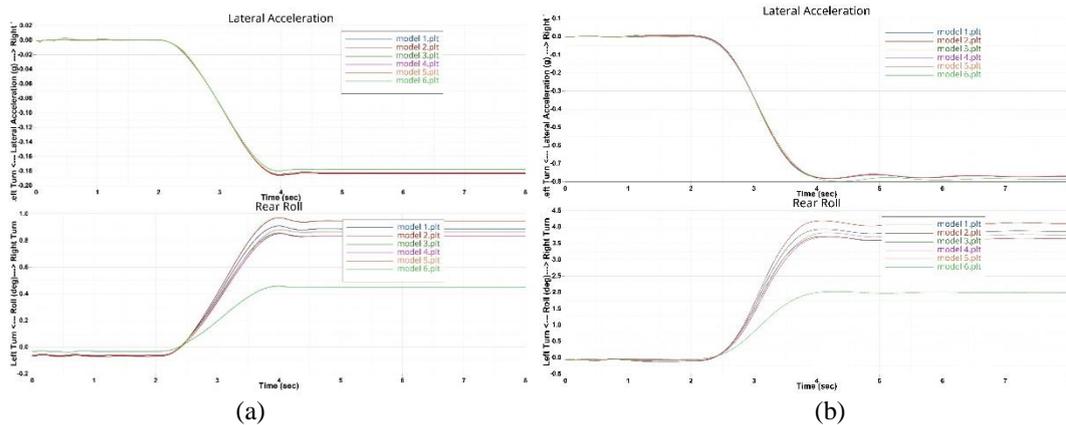
Penyatuan komponen didasarkan pada ukuran yang ditentukan oleh referensi kendaraan dengan wheelbase 2550 mm. Pada pengujian ini desain sistem suspensi dibedakan atas yaitu suspensi depan dan suspensi belakang. Dapat dilihat pada gambar.



Gambar 3. Hasil perancangan kendaraan

3.2 Hasil dan Analisis Pengujian *Multi Body Dynamic*

3.2.1 SWA, Lateral Acceleration, Velocity, Roll



Gambar 4. Grafik Lateral Acceleration dan Rear Roll; (A) Kecepatan 30 km/h (B) Kecepatan 80 km/h

Lateral acceleration yang terjadi tampak lebih besar pada pengujian dengan kecepatan 80 km/j dibandingkan dengan kecepatan 30km/j. Lateral acceleration yang terjadi pada model 1 sampai dengan model 5 tidak menunjukkan perubahan yang signifikan dengan kecepatan rendah yaitu 30km/j berada diantara 0,18445 g sampai 0,18608 g dan pada kecepatan 80km/j berada diantara 0,78011 g sampai 0,78277 g. Dibandingkan dengan model 6 yang sudah ditambahkan stabilizer bar yang cenderung mendapatkan Lateral Acceleration yang lebih besar saat melakukan pengujian yaitu 0,17999 g saat kecepatan 30 km/j dan mencapai 0,79771 g pada 80 km/j.

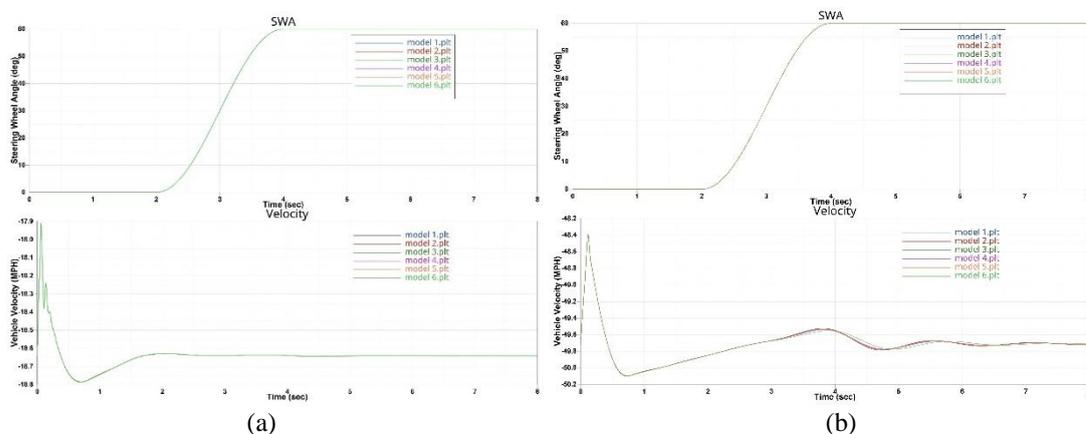
Tabel 3. Lateral Acceleration

Parameter	Kecepatan (km/jam)	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Lateral Acceleration (g's)	30	0.18521	0.18608	0.18479	0.18445	0.18485	0.17999
	80	0.78183	0.78164	0.78238	0.78277	0.78011	0.79771

Pada parameter rear roll yang disebabkan oleh manuver kendaraan, model 2 menunjukkan desain yang paling limbung dibandingkan dengan model lainnya. dengan perubahan di desain suspensi, kendaraan menunjukkan rear roll yang lebih baik. pada model 6 penambahan stabilizer bar dapat diredam untuk lebih baik. Grafik rear roll yang terjadi dapat dilihat di Gambar 4.

Tabel 4. Rear Roll

Parameter	Kecepatan (km/jam)	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Rear Roll (degree)	30	0.90869	0.97075	0.85518	0.85178	0.88227	0.45738
	80	3.93408	4.19566	3.70831	3.71066	3.82468	2.02513



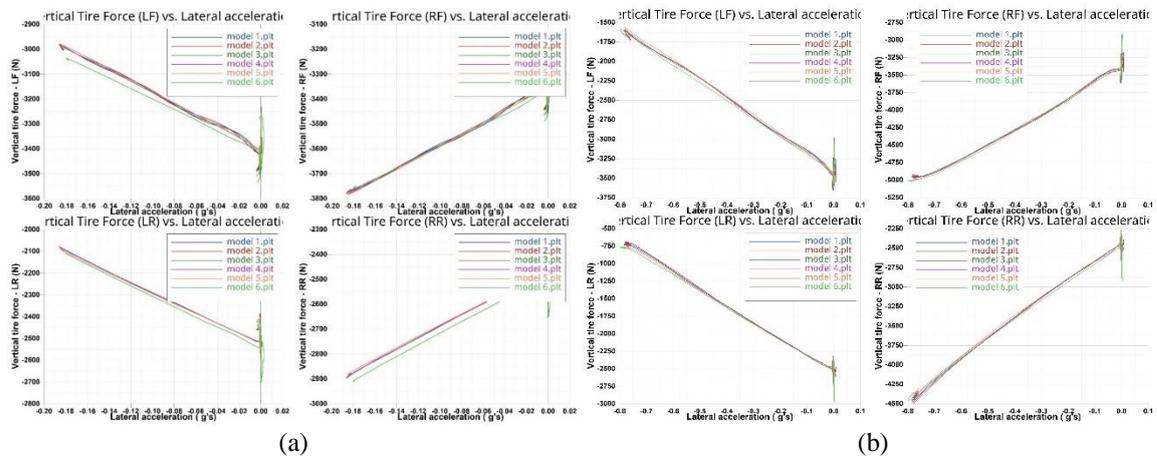
Gambar 5. Grafik SWA dan Velocity; (a) Kecepatan 30 km/h (b) Kecepatan 80 km/h

Dari pengujian step steer pada desain system suspensi terhadap manuver menikung kendaraan pada Altair Hyperwork 2019, Gambar 5 menunjukkan bahwa sudut steering wheel yang untuk melakukan manuver menikung yang diberikan adalah 0° sampai 60°.

Kecepatan kendaraan yang diinput saat pengujian adalah 30 km/j dan 80 km/j. pada saat pengujian kecepatan dapat

berubah yang diakibatkan oleh manuver dari kendaraan, hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 5. Model 6 menunjukkan kecepatan kendaraan cenderung lebih stabil dibandingkan dengan model 1 sampai dengan 5.

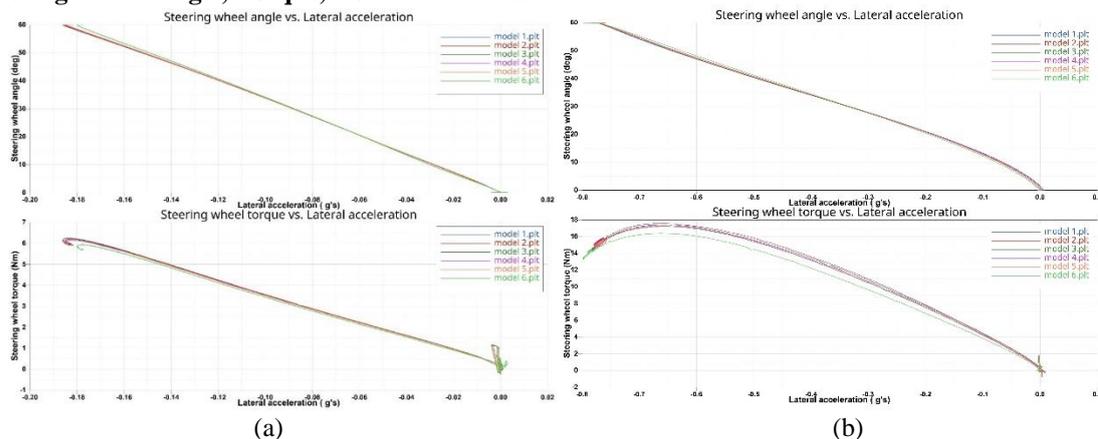
3.2.2 Vertical Tire Force



Gambar 6. Grafik Vertical Tire Force; (A) Kecepatan 30 km/h (B) Kecepatan 80 km/h

Pengujian step steer dilakukan untuk mendapatkan data vertical tire force saat kecepatan 30 km/j dan 80 km/j. Data Vertical Tire Force akibat lateral force menunjukkan pada model 6 yang ditambahkan stabilizer bar terjadi gaya yang lebih besar dibandingkan dengan model 1 sampai dengan 5. pada model 1 sampai 5 vertical tire force tidak menunjukkan perubahan yang signifikan yang ditunjukkan oleh Gambar 6.

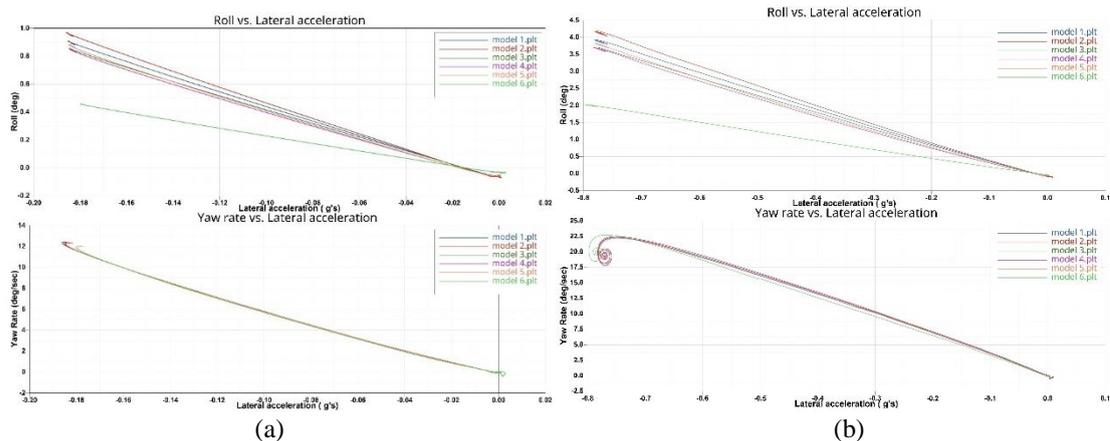
3.2.3 Steering Wheel Angle, Torque, Roll dan Yaw Rate



Gambar 7. Grafik Steering Wheel Angle dan Steering Wheel Torque; (A) Kecepatan 30 km/h (B) Kecepatan 80 km/h

Momen yang diberikan steering wheel yang dipengaruhi oleh lateral acceleration pada model 6 lebih kecil dibandingkan dengan model 1 sampai model 5 terhadap nilai lateral acceleration yang sama saat pengujian. efek lateral acceleration terhadap steering wheel torque dapat dilihat pada Gambar 7.

Dari pengujian step steer, data Lateral Acceleration pada kendaraan mengalami peningkatan sejajar dengan peningkatan sudut pada steering wheel. Pengujian ini menunjukkan bahwa pada model 6, lateral acceleration yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan yang terjadi pada model 1 sampai dengan model 5 saat diberikan sudut steering yang sama yang ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 8. Grafik Roll Rate dan Yaw Rate; (A) Kecepatan 30 km/h (B) Kecepatan 80 km/h

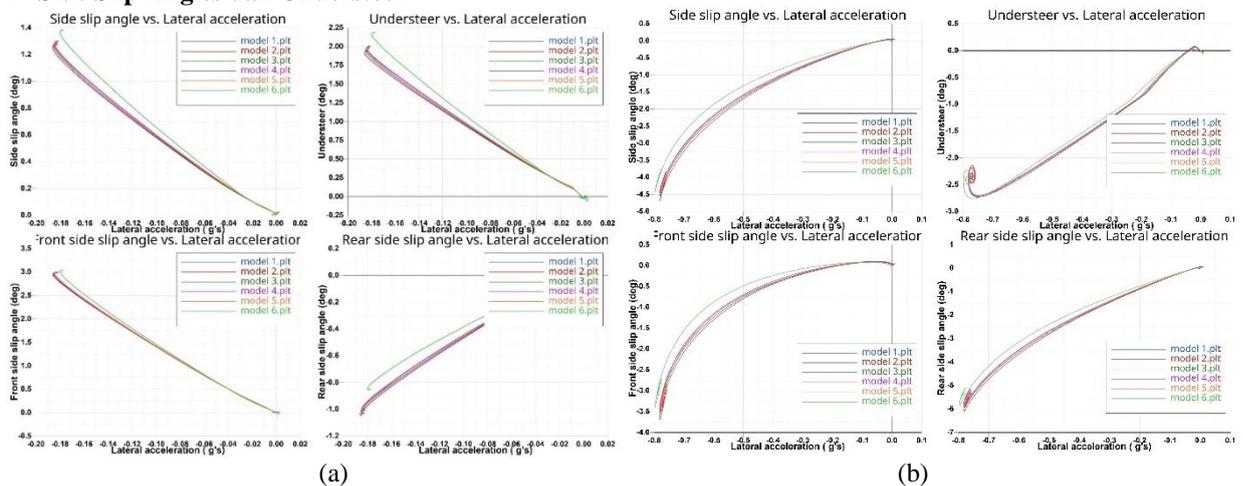
Roll rate yang terjadi pada model 6 lebih kecil dibandingkan dengan model lainnya, dimana model 2 mengalami roll rate yang terbesar. roll rate ini menunjukkan bahwa model 6 mengalami gejala limbung yang paling kecil diantara model lainnya. roll rate dapat dilihat pada Gambar 8.

Pada pengujian ini, perubahan yaw rate terhadap lateral acceleration pada model 6 lebih baik dibandingkan dengan model lainnya sehingga kendaraan lebih mudah dikendalikan. perbandingan yaw rate terhadap lateral acceleration dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 5. Roll dan Yaw

Parameter	Kecepatan (km/jam)	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Roll (degree)	30	0.908689	0.970748	0.855179	0.851784	0.882267	0.457379
	80	3.93408	4.19566	3.70831	3.71066	3.82468	2.02513
Yaw (degree)	30	12.3701	12.4141	12.3293	12.324	12.3421	12.0279
	80	22.351	22.503	22.3916	22.279	22.203	22.7514

3.2.4 Side Slip Angles dan Understeer



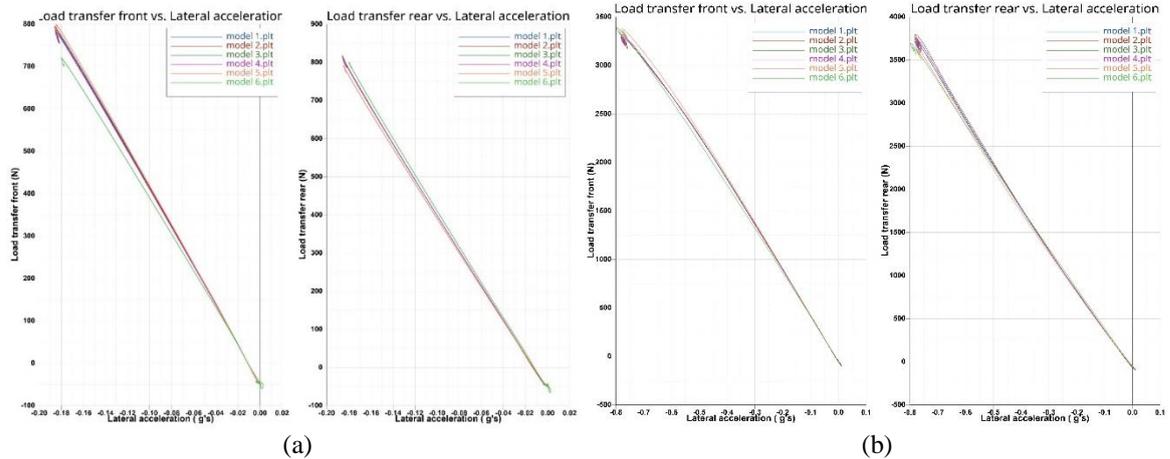
Gambar 9. Grafik Side Slip Angle dan Understeer; (A) Kecepatan 30 km/h (B) Kecepatan 80 km/h

Understeer terjadi apabila front side slip angle lebih besar dibandingkan dengan rear side slip angle. pada kecepatan 80 km/j gejala understeer lebih besar dibandingkan dengan pada saat kecepatan 30 km/j. kejadian understeer ini lebih minim terjadi pada model 6 dibandingkan dengan model 1 sampai dengan model 5 yang membuat model ini lebih aman. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 9.

Tabel 6. Understeer

Parameter	Kecepatan (km/jam)	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Understeer (degree)	30	1.98168	1.9547	2.00632	2.00231	1.98819	2.18654
	80	2.71246	2.73035	2.71777	2.70419	2.69485	2.76051

3.2.5 Load Transfer

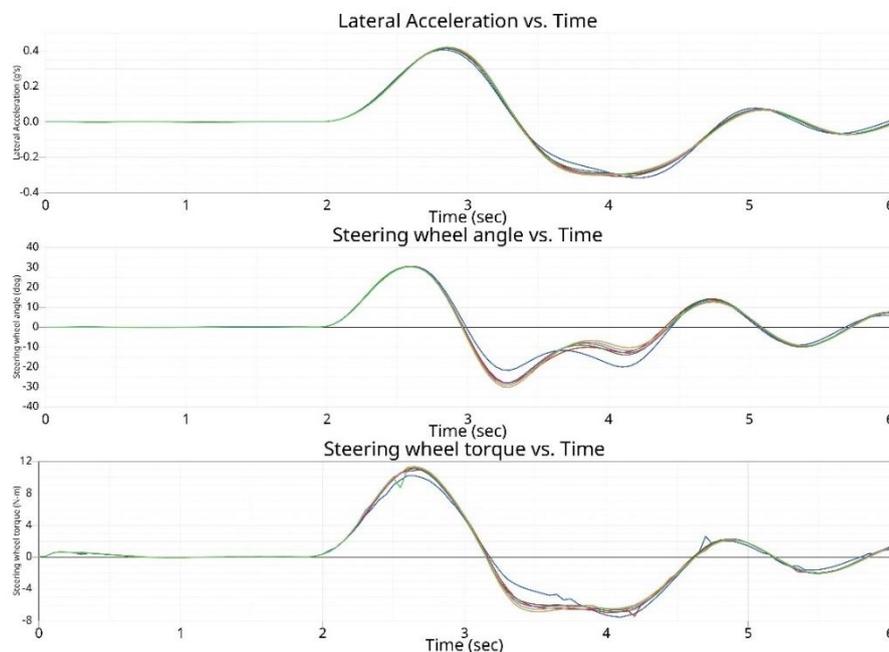


Gambar 10. Grafik Load Transfer; (a) Kecepatan 30 km/h (b) Kecepatan 80 km/h

Pembagian beban yang terjadi ke bagian depan kendaraan pada model 1 sampai model 5 lebih besar dibandingkan pada model 6. Gambar 10 menunjukkan bahwa model 6 memiliki distribusi beban yang lebih seimbang dibandingkan model lainnya saat kendaraan sedang beroperasi.

3.2.6 Displacement, Velocity dan Acceleration

Dari hasil pengujian step steering yang dilakukan, tahapan selanjutnya adalah menganalisis perilaku kendaraan pada saat kendaraan beroperasi dengan dijalankan pada track pengujian single lane change. Akibat adanya perubahan parameter tertentu dan parameter terpenting seperti CG dan Kecepatan Kendaraan pada saat analisis, maka terjadi kondisi selip pada akhir perubahan lajur, tetapi kemudian pada Kendaraan cenderung menjadi lebih stabil seperti yang terlihat pada Grafik yang diplot dalam Report, yaitu perpindahan CG. Jadi dengan cara ini, dengan simulasi masalah dapat diperbaiki dan dengan demikian mengubah parameter, dapat diselesaikan dengan mudah.

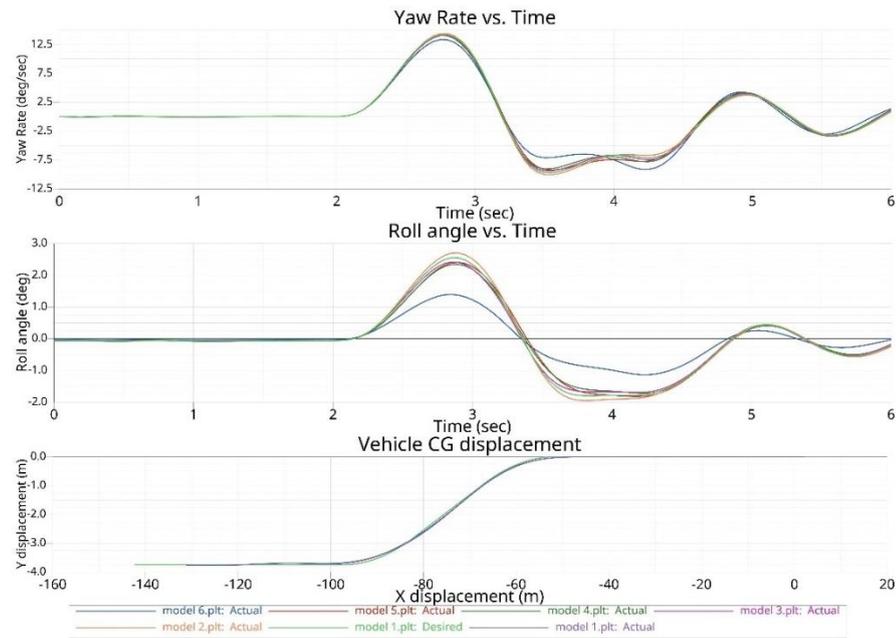


Gambar 11. Grafik Lateral Acceleration, Steering Wheel Angle dan Steering Wheel Torque

Dari hasil pengujian yang dilakukan di track yang sama pada tiap model, lateral acceleration yang dihasilkan oleh model 6 tampak lebih rendah pada saat bermanuver dibandingkan dengan model 1 sampai dengan 5 yang kurang signifikan. Lateral Acceleration yang dihasilkan pada model 1 saat pengujian berada diantara 0,4217 G dan -0,2958 G, sedangkan pada model 6 berada diantara 0,4073 G dan -0,3161 G. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Gambar 11.

Momen yang dibutuhkan untuk mengendalikan kendaraan pada steering wheel pada model 1 ada diantara 11,2619 Nm dan -6,5767 Nm, sedangkan pada model 6 cenderung kecil dibandingkan dengan model lainnya yaitu diantara 10,2292

Nm dan -7,5471 Nm yang ditunjukkan oleh Gambar 11.



Gambar 12. Grafik Yaw Rate, Roll Angle dan CG Displacement

Yaw rate yang terjadi pada kendaraan terhadap track yang dihasilkan pada model 1 ada diantara 14,2098 deg/sec dan -9,72899 deg/sec, sedangkan pada model 6 ada diantara 13,358 deg/sec dan -9,1510 deg/sec yang ditunjukkan oleh Gambar 12 yang menunjukkan kendaraan lebih aman untuk dikendalikan pada model 6.

Roll Angle yang dihasilkan saat pengujian menunjukkan model 2 adalah yang paling besar dan paling limbung. roll angle paling kecil dan stabil ditunjukkan oleh model 6 yaitu diantara 1,3915 degree dan -1,1378 degree dibandingkan pada model 1 yang ada diantara 2,5494 degree dan -1,8005 degree yang ditunjukkan oleh Gambar 12. Keseluruhan model tidak menunjukkan perubahan Center Gravity Displacement yang signifikan, yang ditunjukkan oleh Gambar 12.

4. Kesimpulan

- Berdasarkan rancangan desain suspensi MacPherson pada kendaraan city car dengan spesifikasi wheelbas berat dll, saat kendaraan sedang beroperasi terdapat beberapa parameter yang mempengaruhi performa handling dari kendaraan. parameter yang mempengaruhi tersebut antara lain adalah lateral acceleration, kecepatan, roll angle, vertical tire force, yaw rate, steering wheel angle, steering wheel torque, side slip angle dan load transfer
- Analisis MBD yang dilakukan pada penelitian kali ini adalah pengujian step steering dan pengujian single lane change. strategi yang digunakan untuk meningkatkan performa handling pada kendaraan pada penelitian kali ini adalah dengan memberikan variasi pada kekakuan suspensi. dari model 1 yang memiliki kekakuan pada suspensi depan dengan coil spring $k=30$ N/mm dan strut damper 1 Ns/m, pada suspensi belakang dengan coil spring $k=30$ N/mm dan strut damper 1 Ns/m didapatkan lateral acceleration berada diantara 0,4217 G dan -0,2958 G, yaw rate berada di antara 14,2098 deg/sec dan -9,72899 deg/sec, momen yang diberikan pada roda kemudi diantara 11,2619 Nm dan -6,5767, serta roll angle yang terjadi diantara 2,5494 deg dan -1,8005 deg.
- Setelah dilakukan beberapa variasi, performa handling terbaik adalah pada model 6 dengan spesifikasi kekakuan pada suspensi depan dengan coil spring $k=32$ N/mm dan strut damper 2 Ns/m, pada suspensi belakang dengan coil spring $k=30$ N/mm dan strut damper 1 Ns/m serta penambahan stabilizer bar berukuran OD=20 mm dengan hasil 0,4073 G dan -0,2958 G, yaw rate berada di antara 13,358 deg/sec dan -9,151 deg/sec, momen yang diberikan pada roda kemudi diantara 10,2292 Nm dan -7,5471, serta roll angle yang terjadi diantara 1,3915 deg dan -1,1378 deg

5. Referensi

- Hsu, H. T., Coker, C., & Huang, H. (2010). Optimization of an electric vehicle suspension system using CAE. *world electric vehicle journal*, 4(1), 179-183.
- Shodiq, F. J. F. (2015). *Analisa Kinematis Dan Kekuatan Sistem Suspensi Mobil Listrik ITS Brajawahana* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Priyambada, P. (2016). *Analisis Kenyamanan Serta Redesain Pegas Suspensi Mobil Toyota Fortuner 4.0 V6 SR (AT 4x4)* (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember).
- Abe, Masato. 2011. "Vehicle Handling Dynamic". Oxford. Butterworth-Henneinman
- Lee, U., & Han, C. (2001). A suspension system with a variable roll centre for the improvement of vehicle handling characteristics. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, 215(6), 677-696.

-
- [6] Burnham, P., & Automotive, M. (2007). Simulating the suspension response of a high performance sports car. In Proceedings of the Altair Engineering CAE Technology Conference 2007.
 - [7] Nasada, M. (2006). Effect on compliance and alignment variation with respect to stiffness of knuckle and shock absorber in a McPherson strut suspension. *Vehicle System Dynamics*, 44(sup1), 171-180.
 - [8] Zhao, J., Wen, C., Xue, Y., & Wu, Q. (2018). Simulation of Racing Chassis Performance Based on ADAMS. In CICTP 2018: Intelligence, Connectivity, and Mobility (pp. 1560-1574). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
 - [9] Huang, H. H., & Tsai, M. J. (2019). Vehicle Cornering Performance Evaluation and Enhancement Based on CAE and Experimental Analyses. *Applied Sciences*, 9(24), 5428.
 - [10] Waschl, H., Kolmanovsky, I., Steinbuch, M., & Del Re, L. (Eds.). (2014). Optimization and optimal control in automotive systems (Vol. 455, p. 205). Cham, Switzerland: Springer.