PERANCANGAN SUSPENSI DEPAN PROTOTIPE CAMPAGNA T-REX CAR

Febrian[1], Nazaruddin[2], Syafri[3]

Laboratorium, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Riau

[1]oktafeb@gmail.com, [2]nazaruddin@eng.unri.ac.id, [3]Prie_00m022@gmail.com

Abstract

In designing a safe car while driving, there are many factors to watch out for, such as the suspension system design. In this research, the design of suspension is limited only to discuss the vehicle front suspension. The suspension design process starts from the selection of suspension type, followed by kinematic simulation using Suspension Analyzer v-2.4 software, and stress analysis simulation using Autodesk Inventor software when the vehicle is in braking and turning condition. The result of kinematic simulation of front suspension using Suspension Analyzer v-2.4 was found the change of camber wheel angle by -0.38º when maximum bump (30 mm) and 0.22º when maximum rebound (-30 mm). And the results of static analysis of front suspension components using Autodesk Inventor obtained minimum safety factor value of 1.96 in braking conditions and 1.58 in turn conditions. It was concluded that the front suspension system was still within safe limits.

Keyword : *suspension, static analysis, kinematic analysis, safety factor*

1. Pendahuluan

Campagna T-Rex Car merupakan kendaraan beroda tiga yang sudah diproduksi di Canada, namun karena harga yang mahal yaitu sekitar Rp 500.000.000, maka pada perancangan ini akan dibuat prototipenya dengan harga yang minim serta memiliki bentuk mendekati produk asli.

Faktor keamanan dan kenyamanan penumpang merupakan hal yang diutamakan dalam merancang kendaraan. Salah satu bagian utama dari kendaraan yang memegang peranan yang sangat penting dalam aspek kenyamanan dan keamanan berkendara adalah sistem suspensi.

Sistem suspensi merupakan bagian yang sangat berperan untuk meningkatkan kenyamanan dalam berkendara, karena sistem suspensi ini adalah bagian yang menumpu atau menahan berat kendaraan (beban statis) dan juga menyerap beban dinamis yang terjadi secara tiba-tiba. Kebutuhan lain yang tidak kalah penting dari sistem suspensi adalah menstabilkan kendaraan untuk segala kondisi pengendaraan, termasuk pada saat pembelokan, pengereman dan saat melaju dengan kecepatan tinggi [1].

Tujuan dari penggunaan suspensi adalah untuk membuat beban yang bekerja pada ban lebih kecil dan dapat memudahkan pengendara dalam mengontrol mobil. Suspensi membantu untuk menjaga posisi ban konstan bersentuhan dengan permukaan jalan sehingga ban dapat digunakan sampai batas kemampuannya [2].

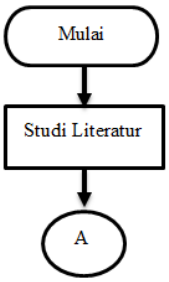
Widhihastu Dharma S (2017) telah melakukan penelitian mengenai perancangan sistem suspensi mobil Formula dengan tipe *double wishbone*, penelitian tersebut melakukan simulasi kinematik dan simulasi statik sistem suspensi, hasil penelitian tersebut adalah dapat diketahuinya perubahan geometri suspensi ketika kendaraan mengalami bump dan rebound serta faktor keamanan komponen suspensi ketika diberi beban [3].

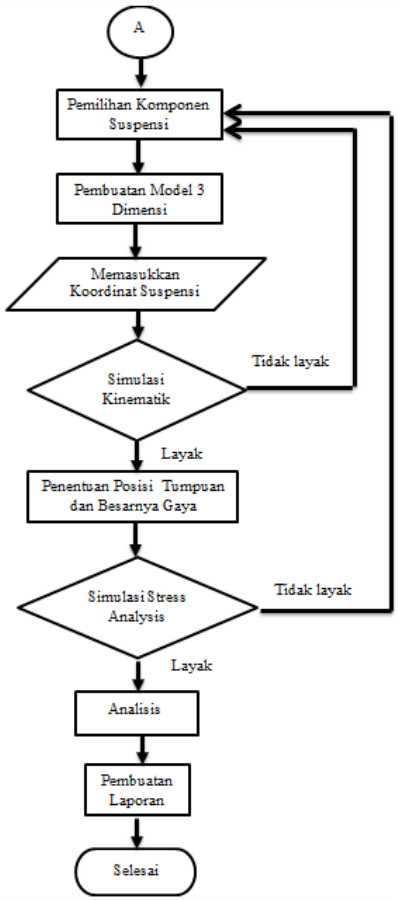
Muhammad Ikhsan (2008) dalam penelitiannya mengenai perancangan sistem suspensi kendaraan mini baja dengan tipe *double wishbone* melakukan analisa kinematik, dinamik dan statik sistem suspensi. Analisa kinematik suspensi dilakukan dengan menggunakan pendekatan *circular arc*, sedangkan analisa dinamik dan statik sistem suspensi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* [1].

Berdasarkan uraian diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai perancangan sistem suspensi pada prototipe Campagna T-Rex Car yang dapat memberikan kontrol penuh terhadap kendaraan pada setiap kondisi *driving*. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui geometri suspensi yang stabil untuk prototipe Campagna T-Rex Car ketika mengalami bump dan rebound, serta mengetahui faktor keamanan komponen sistem suspensi ketika mengalami pembebanan.

2. Metodologi

Tahap-tahap pelaksanaan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

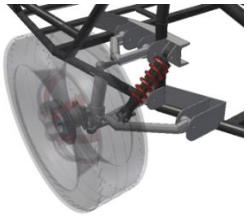




Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Komponen Suspensi

Desain perancangan suspensi depan prototipe Campagna T-Rex Car diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Desain Double Wishbone

1. Lengan Suspensi

Dalam perancangan ini lengan suspensi menggunakan dua jenis pipa yaitu pipa berdiameter 1 inci dengan tebal 3 mm sebagai kontrol arm, dan pipa dengan diameter luar 15 mm dan tebal 2 mm sebagai dudukan *ball joint*, yang permodelannya dapat dilihat pada Gambar 3.

Gambar 3. Lengan Suspensi

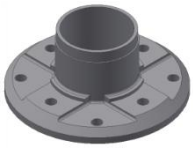
2. Knuckle

Knuckle merupakan komponen yang berfungsi sebagai penghubung antara lengan suspensi dengan roda, yang permodelannya dapat dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Knuckle

3. Hub

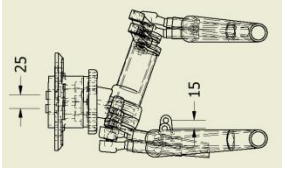
Hub merupakan komponen yang berfungsi sebagai dudukan bearing dan roda yang terhubung dengan knuckle. Ukuran hub yang digunakan pada perancangan ini menyesuaikan dengan ukuran velg roda. Permodelan hub dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hub

4. Shock Absorber

Ride frequency yang digunakan pada perancangan ini adalah 3 Hz, sedangkan motion ratio pada perancangan ini didapatkan dengan memberikan *bump* pada hub roda sebesar 25 mm, lalu mengukur perpindahan dudukan shock absorber pada lengan bawah suspensi, seperti terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Motion Ratio

Maka motion ratio adalah:

$$MR = \frac{25}{15} = 1{,}7$$

Sehingga spring rate yang direncanakan pada perancangan ini adalah:

$$K_s = 4\pi^2 {f_r}^2 m_{sm} MR^2$$
$$K_s = 4 \cdot \pi^2 \cdot 3\ Hz^2 \cdot 100\ kg \cdot 1{,}7^2$$
$$K_s = 102{,}6\ N/mm$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka shock absorber yang digunakan pada perancangan ini adalah shock absorber Yamaha Vixion dengan spring rate 100 N/mm, yang permodelannya dapat dilihat pada Gambar 7.

Gambar 7. Shock Absorber

5. Roda

Roda memiliki komponen seperti ban, velg, bearing dan cakram. Permodelan ban yang digunakan pada perancangan ini dapat dilihat pada Gambar 8, dengan spesifikasi sebagai berikut:

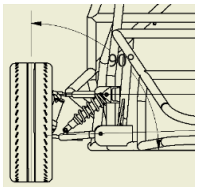
Tipe ban: Tubeless
Merek : Firenza
Ukuran : 195/55 R15

Gambar 8. Roda

2.2 Geometri Suspensi

1. Camber

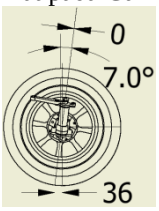
Sudut *camber* yang digunakan dalam penelitian ini adalah 0º, seperti terlihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Camber

a. Caster

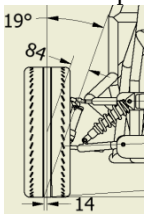
Pada perancangan ini sudut caster dibuat sebesar 7º dan caster offset 0 mm serta caster trail 36 mm, seperti terlihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Caster

b. Kingpin

Pada perancangan sudut kingpin yang didapat adalah 19^0 dengan kingpin offset 84 mm dan scrub radius 14 mm, seperti terlihat pada Gambar 11.

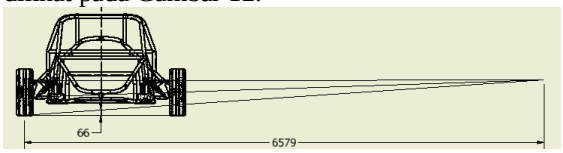


Gambar 11. Kingpin

c. Instant Center dan Roll Center

Panjang dari garis tengah roda menuju *instant center* ketika dilihat dari depan disebut *front view swing arm length* (fvsa length), dimana fvsa length pada perancangan ini adalah 6579 mm.

Jika posisi *instant center* sudah didapatkan, selanjutnya dapat ditarik garis dari *instant center* menuju titik pusat kontak ban dengan permukaan jalan. Dan pertemuan antara garis kontak ban menuju *instant center* pada roda kiri dan kanan disebut *roll center*. Ketinggian *roll center* pada perancangan ini dari permukaan jalan adalah 66 mm. Posisi *instant center* dan *roll center* dapat dilihat pada Gambar 12.



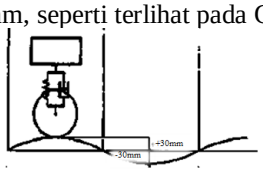
Gambar 12. *Instant Center* dan *Roll Center*

2.3 Analisa Kinematika Suspensi

Analisis kinematika sistem suspensi prototipe Campagna T-Rex Car dilakukan dengan memasukkan koordinat titik-titik geometri dari model tiga dimensi sistem suspensi yang sudah dibuat di Autodesk Inventor ke dalam software *Suspension Analyzer v-2.4.*

Output dari simulasi kinematik menggunakan *Suspension Analyzer v-2.4* ini adalah berupa grafik perubahan sudut *camber* roda terhadap defleksi roda (*bump* dan *rebound*).

Defleksi yang dialami roda dipengaruhi oleh kondisi permukaan jalan yang ditempuh kendaraan. Untuk mengetahui performa suspensi prototipe Campagna T-Rex Car ini ketika melewati jalan bergelombang, maka dalam penelitian ini bentuk permukaan jalan tersebut diasumsikan berbentuk profil sinusoidal dengan defleksi antara -30 mm sampai +30 mm, seperti terlihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Defleksi Roda

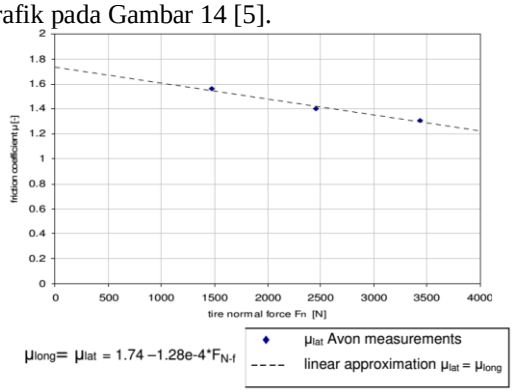
2.4 Analisa Statik Lengan Suspensi

Upright (knuckle) menerima beban selama pengereman dan akselerasi, dan beban lateral selama berbelok. Namun, beban ekstrim yang dipertimbangkan adalah situasi ketika mobil mengerem dan berbelok [4]. Konfigurasi kendaraan prototipe Campagna T-Rex Car dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Konfigurasi Kendaraan

Wheelbase	2,9 m
Track width	1,94 m
Berat kendaraan	500 kg
Distribusi beban (depan:belakang)	40:60
Jarak *ball joint* atas knuckle ke sumbu roda	0,138 m
Jarak *ball joint* bawah knuckle ke sumbu roda	0,065 m
Radius roda	0,293 m
Ground clearance	0,155 m
Tinggi CG	0,4 m

Dalam menghitung beban yang bekerja pada sistem suspensi, maka perancang perlu untuk mengetahui nilai koefisien gesek ban ($\mu\ ban$). Koefisien gesek ban yang digunakan dalam perhitungan gaya pada roda dapat menggunakan grafik pada Gambar 14 [5].



Gambar 14. Koefisien Gesek Ban

1. Gaya Pengereman

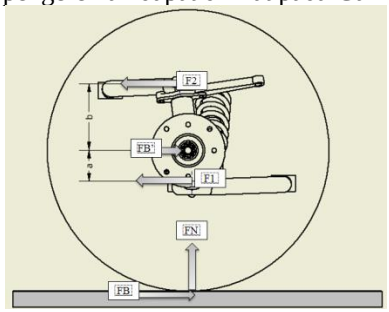
Longitudinal acceleration saat pengereman yang digunakan dalam perancangan ini adalah yang terbesar yaitu 1 g.

$$Long.load\ trans.(N) = Long.Acc(g) \times \frac{mass(kg) \times cg\ height(m)}{Wheelbase(m)}$$

$$1(g) \times \frac{500(kg) \times 0{,}4(m)}{2{,}9(m)} = 69\ kg$$

$$Long.load\ trans.satu\ roda\ depan = \frac{69\ kg}{2} = 34{,}5\ kg$$

Diagram benda bebas sistem suspensi pada kondisi pengereman dapat dilihat pada Gambar 15.

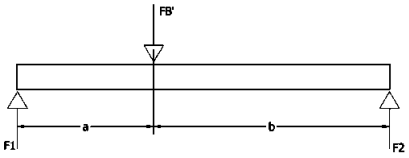


Gambar 15. DBB Pengereman

Berdasarkan DBB suspensi yang diperolah pada saat kondisi pengereman, maka gaya pengereman dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$FB = FN \times \mu\ ban$$
$$FB = (100\ kg + 34{,}5\ kg) \times 9{,}81\ m/s^2 \times 1{,}55$$
$$FB = 2044\ N$$

Untuk mengetahui besar gaya yang terjadi pada joint antara knuckle dengan lengan suspensi pada kondisi pengereman, maka diasumsikan gaya pengereman yang terjadi pada roda sama dengan gaya yang terjadi pada center hub (FB = FB'), sehingga dapat dibuat DBB sebagai berikut.



$$\sum Ma = 0$$
$$-FB' \times a + F2 \times (a+b) = 0$$
$$-2.044 \times 65mm + F2 \times 203mm = 0$$
$$F2 = 654{,}5\ N$$
$$F1 = 2.044\ N - 654{,}5\ N = 1.389{,}5\ N$$

1. Gaya Berbelok

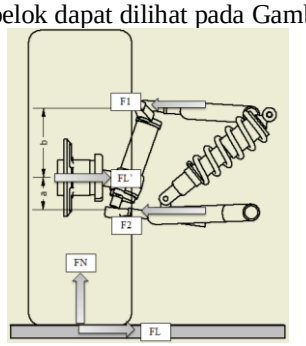
Lateral acceleration saat akselerasi yang digunakan dalam perancangan ini adalah yang terbesar yaitu 1,5 g.

$$Lat.load\ trans.(N) = Lat.Acc(g) \times \frac{mass(kg) \times cg\ height(m)}{Track\ width(m)}$$

$$1{,}5(g) \times \frac{500(kg) \times 0{,}4(m)}{1{,}94(m)} = 155\ kg$$

$$Lat.load\ trans.satu\ roda\ depan = \frac{155\ kg}{2} = 77{,}5\ kg$$

Diagram benda bebas sistem suspensi pada kondisi berbelok dapat dilihat pada Gambar 16.

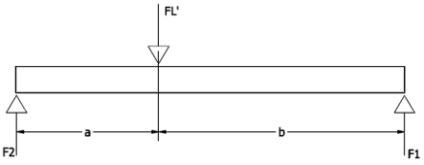


Gambar 16. DBB Beban Lateral

Berdasarkan DBB suspensi yang diperolah pada saat kondisi berbelok, maka gaya berbelok dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$FL = FN \times \mu\ ban$$
$$FL = (100kg + 77{,}5kg) \times 9{,}81 \times 1{,}5 = 2.612\ N$$

Untuk mengetahui besar gaya yang terjadi pada joint antara knuckle dengan lengan suspensi pada kondisi berbelok, maka diasumsikan gaya berbelok yang terjadi pada roda sama dengan gaya yang terjadi pada center hub (FL = FL'), sehingga dapat dibuat DBB sebagai berikut.

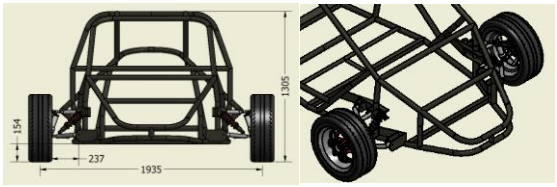


$$\sum Ma = 0$$
$$-FL' \times a + F2 \times (a+b) = 0$$
$$-2.612 \times 65mm + F1 \times 203mm = 0$$
$$F1 = 836\ N$$
$$F2 = 2.612N - 836N = 1.776\ N$$

3. Hasil

3.1 Dimensi Suspensi

Bentuk fisik hasil perancangan suspensi depan prototype Campagna T-Rex Car dapat dilihat pada Gambar 17.



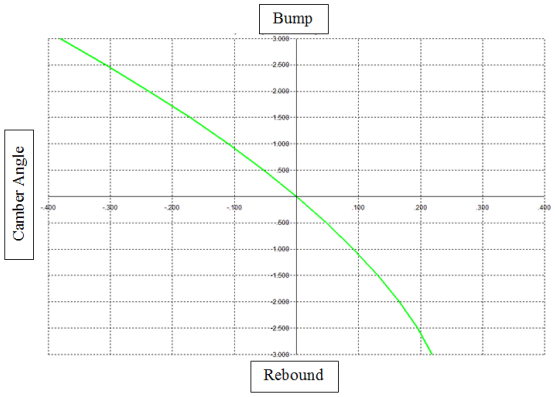
Gambar 17 Hasil Perancangan Suspensi Depan

Dari Gambar 17 didapatkan dimensi keseluruhan kendaraan bagian depan, yaitu sebagai berikut:

Track width : 1935 mm
Ground clearance : 154 mm
Jarak roda ke rangka : 237 mm
Tinggi kendaraan : 1305 mm

a. Hasil Simulasi Kinematik

Perubahan sudut *camber* dapat terjadi akibat adanya perbedaan kontur jalan yang menanjak dan menurun. Perubahan sudur *camber* ini sangat berpengaruh terhadap kestabilan sistem suspensi pada saat berkendara. Untuk mengetahui nilai perubahan sudut *camber* kendaraan maka dilakukan simulasi menggunakan software *Suspension Analyzer v-2.4*. Simulasi perubahan sudut *camber* dilakukan dengan cara menaikkan roda (bump) dan menurunkan roda (rebound) antara +30 mm hingga -30 mm, hasil simulasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Perubahan Sudut Camber

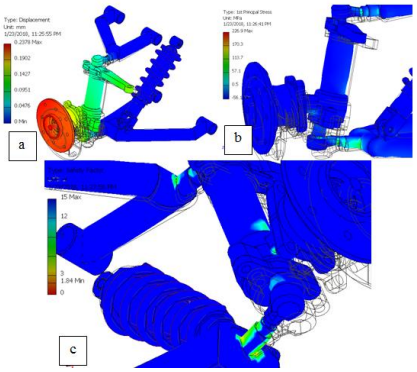
b. Hasil Analisis Statik Suspensi Dalam Kondisi Pengereman

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software Autodesk Inventor*, maka didapatkan hasil seperti yang di tunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2 Hasil Simulasi Statik Kondisi Pengereman

No	Nilai	Hasil Analisis		
		Displacement	Tegangan Utama	*Safety factor*
1	Maksimum	0,2229 mm	204,6MPa	15
2	Minimum	0	-53,1 MPa	1,96

Dari Tabel 2, dapat diketahui bahwa displacement maksimum yang terjadi adalah 0,2229 mm yang terletak pada hub roda seperti terlihat pada Gambar 19 (a). Sedangkan untuk tegangan utama maksimum yang terjadi adalah sebesar 204,6 MPa yang terletak pada dudukan *ball joint* atas dan bawah seperti terlihat pada Gambar 19 (b). Sedangkan untuk *safety factor* minimum sistem suspensi dalam kondisi pengereman adalah 1,96 yang terletak pada *ball joint* bawah seperti terlihat pada Gambar 19(c).



Gambar 19. (a) Displacement Maks. (b) Tegangan Utama Maks. (c) Safety factor

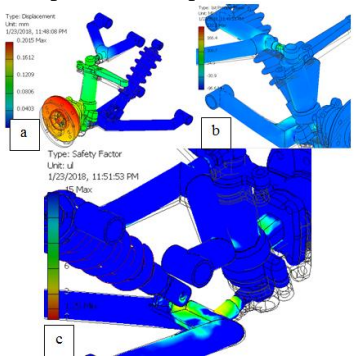
c. Hasil Analisis Statik Suspensi Dalam Kondisi Berbelok

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan *software Autodesk Inventor*, maka didapatkan hasil seperti yang di tunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Simulasi Statik Kondisi Berbelok

No	Nilai	Hasil Analisis		
		Displacement	Tegangan Utama	*Safety factor*
1	Maksimum	0,2164 mm	218,2 MPa	15
2	Minimum	0	-64,6 MPa	1,58

Dari Tabel 3, dapat diketahui bahwa dispalcement maksimum terjadi pada hub roda sebesar 0,2164 seperti terlihat pada Gambar 20 (a). Sedangkan untuk tegangan utama maksimum terletak pada ball joint atas dan bawah senilai 218,2 MPa seperti terlihat pada Gambar 20 (b). Kemudian untuk *safety factor* minimum sistem suspensi dalam kondisi berbelok terletak pada ball joint bawah senilai 1,58 seperti terlihat pada Gambar 20 (c).



Gambar 20. (a) Displacement Maks. (b) Tegangan Utama Maks. (c) Safety factor

4. Pembahasan

a. Perubahan Sudut *Camber*

Berdasarkan hasil simulasi kinematik suspensi depan prototipe Campagna T-Rex Car menggunakan *software Suspension Analyzer v-2.4*, didapatkan bahwa pada saat roda mengalami *bump*, sudut *camber* cenderung bernilai positif, dan pada saat *rebound* sudut *camber* bernilai negatif. Namun perubahan sudut *camber* ini kecil sekali. Hal ini menunjukkan bahwa susupensi yang dirancang baik, karena suspensi yang baik adalah suspensi yang dapat mempertahankan sudut *camber* roda tetap 0^o sehingga kontak antara roda dan permukaan jalan tidak mengalami slip dan memiliki grip yang baik.

b. Pembahasan Hasil Analisis Statik Suspensi

Hasil analisis pada kondisi pengereman menunjukkan bahwa komponen sistem suspensi depan yang terkena beban paling besar dan *safety factor* paling kecil adalah pipa dudukan *ball joint* pada lengan bawah. Hal ini disebabkan karena gaya dan momen yang dihasilkan pada kondisi pengereman sangat membebani komponen suspensi bagian bawah.

Sama halnya dengan kondisi pengereman, hasil analisis statik suspensi depan dalam kondisi berbelok menunjukkan bahwa komponen sistem suspensi depan yang terkena beban paling besar dan *safety factor* paling kecil adalah pipa dudukan *ball joint* pada lengan bawah. Hal ini disebabkan karna gaya dan momen yang dihasilkan pada kondisi berbelok sangat membebani komponen suspensi bagian bawah.

Berdasarkan hasil analisis statik suspensi pada kondisi pengereman maupun berbelok, maka hasil perancangan suspensi prototipe Campagna T-Rex Car ini dapat dikategorikan aman.

5. Kesimpulan

Dari hasil perancangan rangka dan suspensi depan prototipe Campagna T-Rex Car dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dari hasil perancangan rangka, didapatkan dimensi rangka dengan panjang 3707 mm, lebar 1603 mm dan tinggi 1154 mm.
2. Dari hasil analisis statik rangka dengan perhitungan manual dan simulasi menggunakan *software Autodesk Inventor*, didapatkan kesimpulan bahwa rangka masih dalam batas aman.
3. Perubahan sudut *camber* yang terjadi pada kondisi *bump* maksimum (+30 mm) adalah -0,38^o. Sedangkan perubahan sudut *camber* pada kondisi *rebound* maksimum (-30 mm) adalah 0,22^o.
4. Analisis statik komponen sistem suspensi prototipe Campagna T-Rex Car dengan stress analysis menggunakan *software Autodesk Inventor* menunjukkan nilai faktor keamanan minimal 1,96 pada kondisi pengereman dan 1,58 pada kondisi berbelok. Hal ini menunjukkan hasil perancangan sistem suspensi prototipe Campagna T-Rex Car masih dalam batas aman.

Daftar Pustaka

[1] Ikhsan, M. 2008. Perancangan Suspensi Depan Pada Kendaraan Mini Baja Dengan Model Double Wishbone. Skripsi. Universitas Indonesia.

[2] Priambudi, A. R. 2011. Perancangan Awal Suspensi Mobil Balap Student Formula SAE. Skripsi. Institut Teknologi Bandung.

[3] Setiawan, Widhihastu Dharma. 2017. Perancangan Sistem Suspensi Mobil Formula Garuda 16 (FG16) Ditunjau dari Geometri Suspensi dan Simulasi Finite Element Analysis (FEA). Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta.

[4] Anshul Dhakar dan Risvhav Ranjan. 2016. *Force Calculation in Upright of a FSAE Race Car*. International Journal of Mechanical Engineering and Tecnology (IJMET).

[5] Van Berkum, A. 2006. *Chassis and Suspension Design FSRTE02*. Master Thesis. Technische Universiteit Eindhoven. DCT 2006.23.