

ANALISIS PERFORMA CORNERING MEDIUM DUTY TRUK DENGAN SUSPENSI LEAF SPRING MELALUI METODE MULTIBODY DYNAMICS (MBD) SIMULATION

Albert Ishac Einstein Simanjuntak¹, Ismoyo Haryanto², Toni Prahasto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*Email : albertishacs@gmail.com

Abstrak

Kendaraan logistik merupakan kendaraan yang ditujukan untuk pengangkutan barang produksi. Transportasi logistik jalur darat pada umumnya menggunakan kendaraan muatan seperti truk, truk bak, truk box dan sebagainya. Kebutuhan pemindahan barang dalam jumlah besar dan cepat merupakan tujuan yang ingin dicapai dalam proses pengangkutan logistik namun daerah perkotaan yang tidak mendukung bagi truk dengan ukuran yang besar sehingga truk dan truk bak tidak direkomendasikan untuk pengangkutan barang di daerah kota. Multibody Dynamics (MBD) simulation merupakan salah satu metode untuk menguji kinematika dan dinamika dari rancangan suspensi. Pada penelitian ini dilakukan pengujian MBD dengan metode pengujian Kinematic and Compliance dan Constant Radius Constant. Model kendaraan yang dijadikan referensi pada penelitian ini adalah medium duty truck-Hino 338, yang merupakan kendaraan logistik dengan daerah tujuan operasi di perkotaan. Berdasarkan pengujian kinematic and compliance pada sistem kemudi depan didapatkan data yang terdiri dari vertical load, toe angle, camber angle, caster angle serta steering angle dalam dan luar dari truk yang masing-masing 34.1° dan 19.7° . Data tersebut kemudian diolah dan didapatkan ratio steering sebesar 13,4 :1. Penelitian dilanjutkan dengan melakukan pengujian constant speed constant radius (CSCR) dengan memperhitungkan radius putar minimum yang memungkinkan pada kendaraan berdasarkan geometri steering ackerman. Pengujian constant speed constant radius mendapatkan kondisi dinamik dari truk yang terdiri dari turning radius, steering wheel angle, lateral acceleration, vehicle roll, vehicle yaw rate, vehicle path, vehicle slip. Dari pengujian didapatkan kecepatan aman maximum untuk melakukan *cornering* pada lintasan dengan radius 9.5 sebelum truk mengalami kondisi slip adalah 25km/jam.

Kata Kunci: *constant speed constant radius simulation; cornering MBD; medium duty truck*

Abstract

Logistics vehicles are vehicles intended for the transportation of production goods. Land line logistics transportation generally uses cargo vehicles such as trucks, tailgates, box trucks and so on. The need to move goods in large and fast quantities is a goal to be achieved in the logistics transportation process, but urban areas do not support large trucks, so trucks and pickup trucks are not recommended for transporting goods in urban areas. Multibody Dynamics (MBD) simulation is one method to test the kinematics and dynamics of the suspension design. In this study, MBD was tested using the Kinematic and Compliance and Constant Radius Constant testing methods. The vehicle model that is used as a reference in this study is a medium duty truck-Hino 338, which is a logistics vehicle with an operational destination in urban areas. Based on kinematic and compliance testing on the front steering system, data obtained consisting of vertical load, toe angle, camber angle, caster angle and steering angle inside and outside of the truck are 34.1° and 19.7° , respectively. The data is then processed and obtained a steering ratio of 13.4:1. The research was continued by testing the constant speed constant radius (CSCR) by calculating the minimum possible turning radius on the vehicle based on the Ackerman steering geometry. Constant speed constant radius test obtains dynamic conditions of the truck which consists of turning radius, steering wheel angle, lateral acceleration, vehicle roll, vehicle yaw rate, vehicle path, vehicle slip. From the test, it was found that the maximum safe speed for cornering on a track with a radius of 9.5 before the truck experienced a slip condition was 25km/hour.

Keywords: *constant speed constant radius simulation; cornering MBD; medium duty truck*

1. Pendahuluan

Material handling adalah langkah penanganan yang diberikan pada produk ketika dalam proses maupun pasca produksi. Dalam proses penanganan produk salah satu tahapan yang dilalui adalah loading/pengangkutan. Pengangkutan

merupakan proses pemindahan produk dari satu tempat ke tempat lain. Dalam proses pengangkutan diperlukan penanganan yang tepat dan efisien untuk memastikan produk dapat dipindahkan dengan aman. Proses pengiriman produk dalam supply chain sangat bergantung pada dukungan logistic fisik, seperti penanganan material, pengemasan, pergudangan, transportasi produk dan sebagainya [1].

Industri transport logistik merupakan industri yang dinamis dan memiliki cakupan yang luas. Kebutuhan akan kendaraan logistik dalam proses pengangkutan barang sangat mempengaruhi performa dan efisiensi. Penggunaan kendaraan logistik khusus daerah perkotaan merupakan salah satu metode optimasi yang umum diterapkan dalam keberlangsungan industri pengangkutan logistik [2].

Kendaraan logistik merupakan kendaraan yang ditujukan untuk pengangkutan barang produksi. Transportasi logistik jalur darat pada umumnya menggunakan kendaraan muatan seperti truk, truk bak, truk box dan sebagainya. Kebutuhan pemindahan barang dalam jumlah besar dan cepat merupakan tujuan yang ingin dicapai dalam proses pengangkutan logistik namun daerah perkotaan yang tidak mendukung bagi truk dengan ukuran yang besar sehingga truk dan truk bak tidak direkomendasikan untuk pengangkutan barang di daerah kota. Untuk mencapai target pengiriman maka penggunaan truk dengan ukuran medium menjadi solusi utama untuk memaksimalkan performa transport. Truk box merupakan salah satu kendaraan muatan dengan tipe medium duty truck kendaraan ini memenuhi spesifikasi yang memadai dalam jalanan perkotaan dimana dengan ukuran yang tidak terlalu besar dan kapasitas yang mumpuni dalam pengangkutan logistik. Truk box melakukan pekerjaan dengan jarak menengah dimana siklus penggunaannya cepat, oleh karena itu dirancang untuk memastikan kenyamanan pengemudi dan keamanan logistik yang diangkut menjadi salah satu faktor penting dalam siklusnya. Salah komponen truk box yang mendukung performa dalam pengerjaan ini adalah suspensi. Suspensi berperan dalam mempengaruhi kenyamanan penumpang dan performa berkendara yang mulus di medan yang dilaluinya [3].

Rancangan suspensi yang ekonomis dengan performa yang baik merupakan keharusan utama yang ingin dicapai oleh industri manufaktur kendaraan. Jenis kendaraan medium duty truk umumnya menggunakan sistem suspensi dengan tipe leaf springs suspension. Sistem suspensi ini terdiri dari komponen yang mudah didapat dan memiliki kapasitas yang memadai untuk jenis muatan yang diangkutnya. Komponen utama dari suspensi ini adalah plat melengkung tunggal maupun tumpukan yang disusun sesuai dengan beban kerja yang dimilikinya. Dalam perancangan sistem suspensi dibutuhkan analisis performa yang dimiliki. Sebelum dapat dikirim di pasaran suspensi yang akan diproduksi spesifikasi suspensi harus memadai dari segi material maupun respon perilaku gerakan suspensi ini pada saat berada dalam lintasan [4].

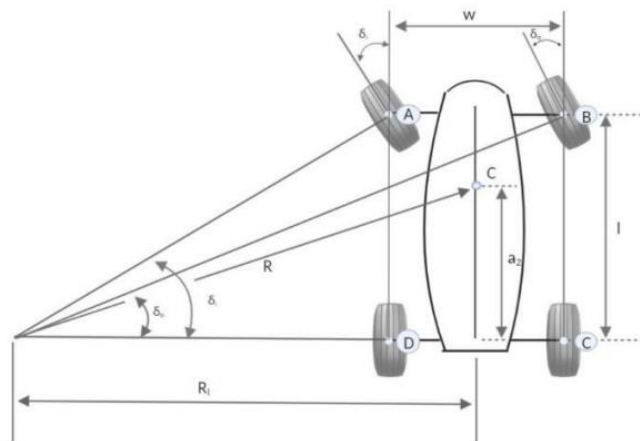
2. Metodologi Penelitian

2.1. Kinematic & Compliance Simulation

Pengujian kinematic and compliance adalah pengujian perilaku sistem suspensi dengan kondisi yang ditentukan terhadap waktu. Pengujian dilakukan pada model suspensi bagian depan truk HINO 338 dengan sistem suspensi leaf spring. Sebelum melakukan pengujian dilakukan konfigurasi parameter pengujian untuk menentukan kondisi yang dialami sistem pada saat pengujian. Sebelum melakukan pengujian diperlukan konfigurasi data sesuai dengan perilaku yang ingin diberikan pada sistem. Data konfigurasi kemudian di-input dalam Task Wizzard pada menu Analysis software Altair Motion View 2019

2.2. Constant Radius Constant Speed Simulation

Pengujian ini memungkinkan simulasi pada keseluruhan body truk yang mencakup simulasi perilaku kendaraan pada saat melalui lintasan memutar dengan tertentu. Hasil test yang diberikan menyajikan kondisi body dan perilaku sistem secara utuh berdasarkan komponen yang pada truk. Simulasi yang dilakukan berupa task dan lintasan yang menyajikan kondisi dan perilaku truk pada track yang dibuat. Tahapan awal pengujian adalah pemilihan task pada menu task wizzard. Tipe analysis yang diberikan pada pengujian adalah constant radius.



Gambar 1. Ackerman Steering Condition Geometry

Dalam penelilitian multibody dynamcis (MBD) dilakukan pengujian perilaku truk pada sebuah lintasan. Pemodelan lintasan yang dilalui truk didapatkan melalui perhitungan turning radius berdasarkan persamaan kinematik Ackerman. Berdasarkan pengujian yang didapat melalui *kinematic and compliance analysis*, didapatkan berikut ini

- Inner Wheel Angle $\delta_i = 34.1^\circ$
- Outer Wheel Angle $\delta_o = 19.7^\circ$

Dan melalui spesifikasi mobil hino 338 didapatkan nilai berikut :

- Track Width = 2000mm
- Truck Length = 4749

Untuk mendapatkan radius putaran COM dari Truk, dilakukan perhitungan kinematic steering dengan menggunakan persamaan :

$$R = \sqrt{a_2^2 + l^2 \cot^2 \delta}$$

Berdasarkan geometri truk diketahui data geometri:

$$\begin{aligned} a_2 &= 2000 \text{ mm} \\ l &= 4749 \text{ mm} \\ \delta &= \frac{34.1+19.7}{2} = 26.9^\circ \end{aligned}$$

Maka dari persamaan [2] didapatkan radius putaran :

$$\begin{aligned} R &= \sqrt{2000^2 + 4749^2 \cot^2(26.9^\circ)} \\ R &= 9573\text{mm} \end{aligned}$$

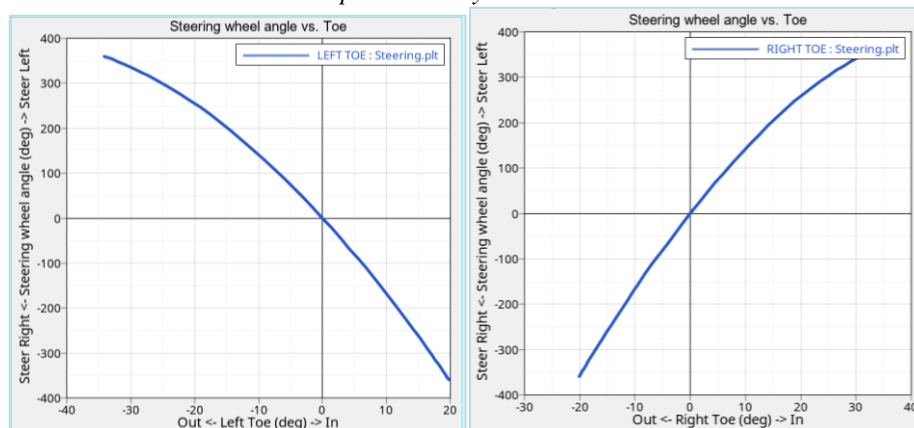
Sehingga didapat nilai **R = 9.537mm ~ 9.5m**

Nilai R kemudian diinput dalam pengujian *Constant Radius Analysis* sebagai lintasan yang akan dilalui oleh truk.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil dan Pembahasan Simulasi Kinematic & Compliance Analysis

Berikut hasil simulasi *kinematic and compliance analysis*

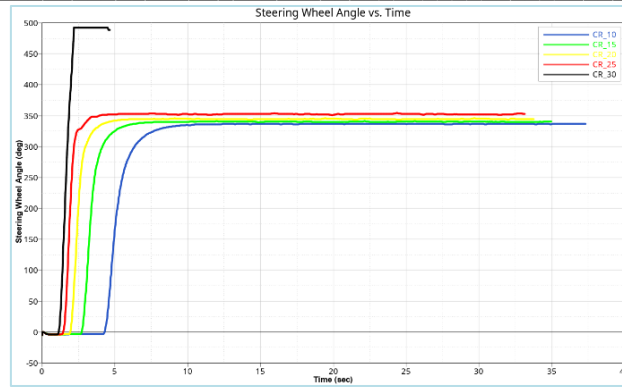


Gambar 2. Steering Analysis

Steering test dilakukan dengan menggerakkan kemudi hingga mencapai posisi maksimum (360°) steering test menghasilkan data steering wheel angle melalui respon toe dengan nilai: Inner Steering Angle $\delta = 34.1^\circ$ dan outer steering angle $\delta = 19.7^\circ$. Berdasarkan data steering dan kondisi ackerman didapatkan ratio steering terhadap steering angle sebesar 13,4:1

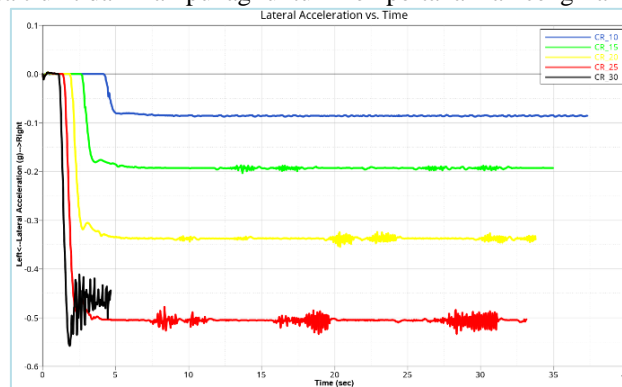
3.2. Hasil dan Pembahasan Simulasi Constant Speed Constant Radius Simulation

Berikut hasil simulasi *constant speed constant radius simulation*. Sudut kemudi roda pada setiap kecepatan dipengaruhi oleh beban yang diterima pada roda. Pada kecepatan 10 km/h sudut kemudi tidak dapat mencapai maksimum dan hanya mencapai 340° , Pada kecepatan 20km/h, Sudut kemudi roda mencapai 358° . Pada kecepatan 30km/h sudut kemudi roda melewati batas maksimum (mengalami kondisi slip).



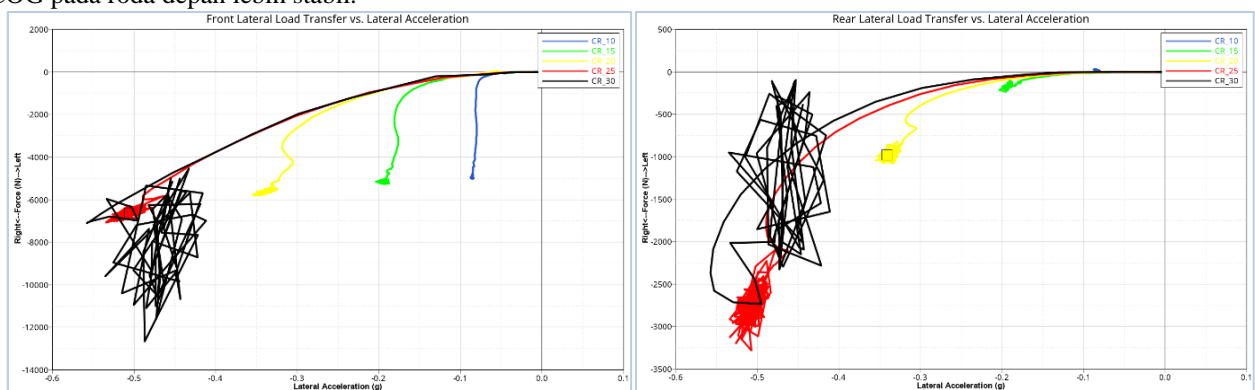
Gambar 3. Steering Wheel Angle

Berdasarkan persamaan *lateral acceleration*, dan radius putaran dapat dihitung nilai percepatan lateral dari masing-masing variasi kecepatan pada kondisi ideal. Jika dibandingkan dengan hasil pengujian, kecepatan 10km/h dan 15km/h mencapai percepatan lateral dengan kondisi paling stabil, namun pada variasi kecepatan 20 km/h dan 25km/h *lateral acceleration* yang dihasilkan mulai tidak stabil dapat dilihat dari amplitudo grafik terhadap waktu yang dihasilkan dan pada kecepatan 30 km roda truk tidak mampu lagi untuk mempertahankan cengkraman terhadap jalan.



Gambar 4. Lateral Acceleration vs Time

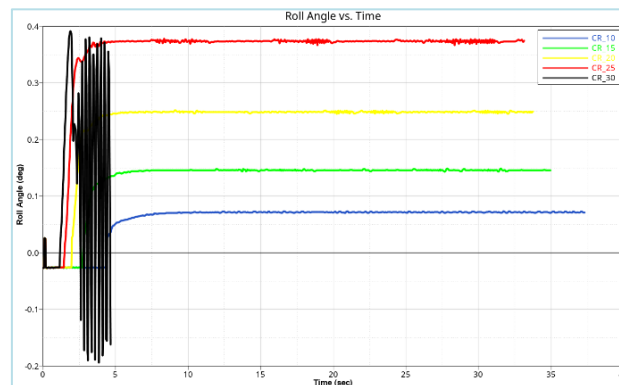
Perubahan load paling tidak beraturan dialami pada kecepatan 30km/jam dimana kondisi truk sudah tidak dapat mempertahankan radius putarnya dan mengalami slip. Load transfer dengan kondisi paling stabil didapatkan pada kecepatan 10km/jam dimana pada roda belakang perubahan pembebanan sangat rendah dan mendekati nol. Dan pergerakan COG pada roda depan lebih stabil.



Gambar 5. Lateral Load Transfer

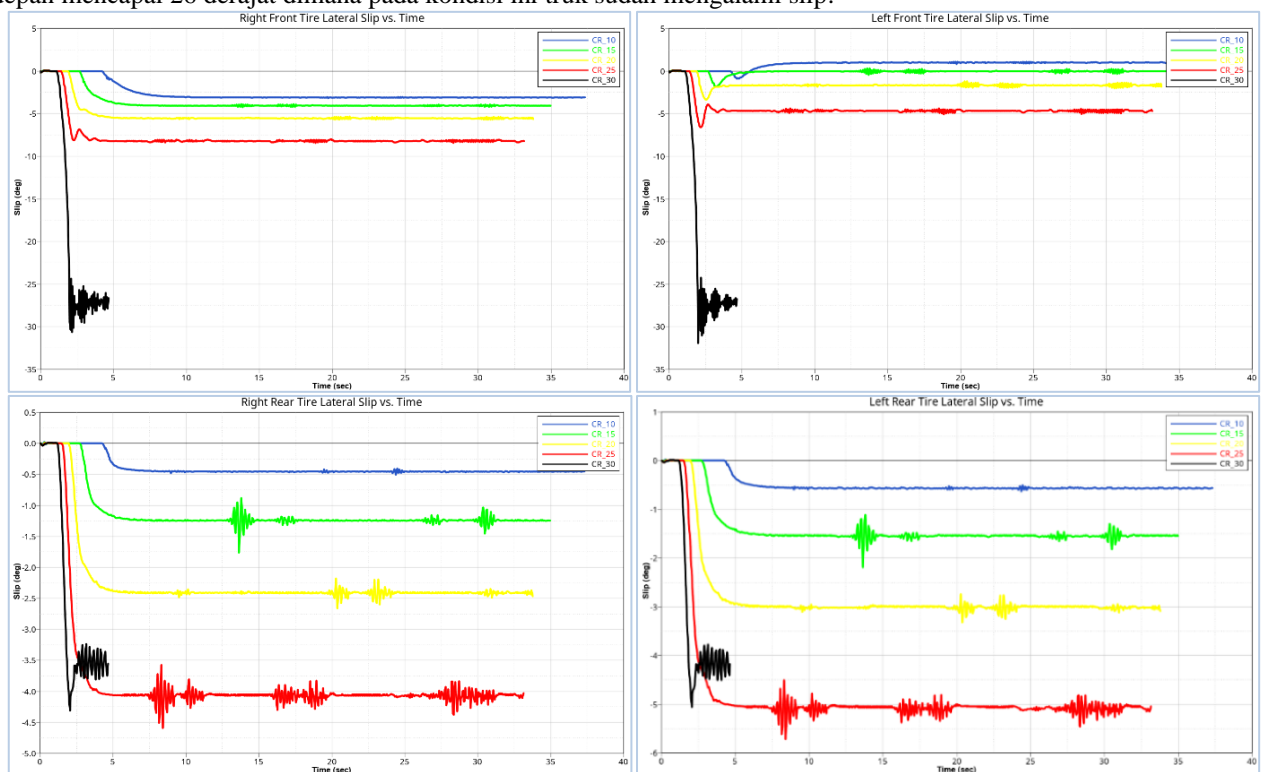
Transfer beban lateral atau transfer berat lateral, adalah jumlah perubahan pada beban vertikal ban karena akselerasi lateral yang dikenakan pada pusat gravitasi (CG) mobil, pada pengujian dapat dilihat bahwa pembebanan pada truk lebih mengarah ke roda depan truk, pada range kecepatan 10km/jam dan 15km/jam pembebanan pada bagian depan truk cenderung menurun dengan drastis seiring dengan menurunnya percepatan lateral yang dialami oleh truk. *Lateral load transfer* dapat dilihat melalui grafik pada gambar 5 di atas. Nilai roll angle pada COG truk cenderung rendah karena pengujian dilakukan pada kondisi jalan yang rata. Roll angle dengan kondisi cornering paling tinggi dialami pada kecepatan 25km/jam dan paling rendah pada kecepatan 10km/jam. Pada kecepatan 30 km/jam sudut roll sudah tidak stabil

dengan dapat dilihat dari nilai amplitudo yang besar. Kondisi sudut roll pada model dapat dilihat pada grafik gambar 6 di bawah ini.



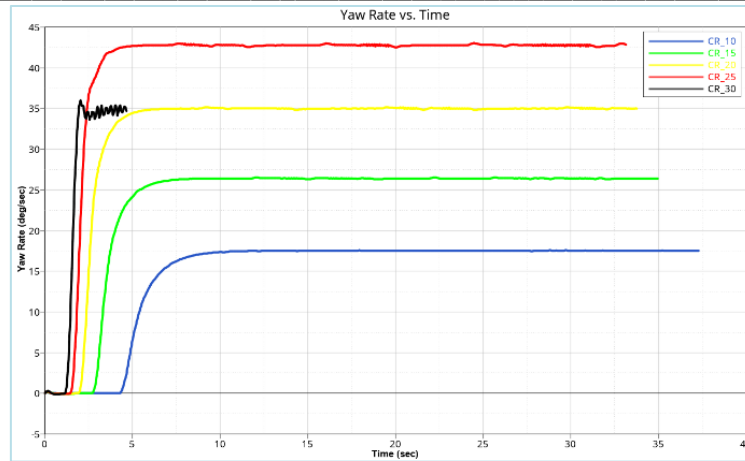
Gambar 6. Roll Angle

Idealnya, sudut slip sebagian besar kendaraan yang melaju dengan kecepatan legal harus sekitar 5-10 derajat. Saat sudut selip ban semakin besar, titik di mana deformasi lateral menjadi maksimum bergerak cepat ke arah depan. Ketika sudut selip sekitar $10-12^\circ$, permukaan kontak yang sejajar dengan arah perjalanan ban menghilang. Deformasi permukaan kontak hampir simetris di sekitar pusat roda dan terdiri dari hampir semua daerah slip. Hal ini mengakibatkan truk tidak mampu mempertahankan kondisi putarannya. Dapat dilihat pada kecepatan 30 km/jam, Slip angle yang dialami roda depan mencapai 26 derajat dimana pada kondisi ini truk sudah mengalami slip.



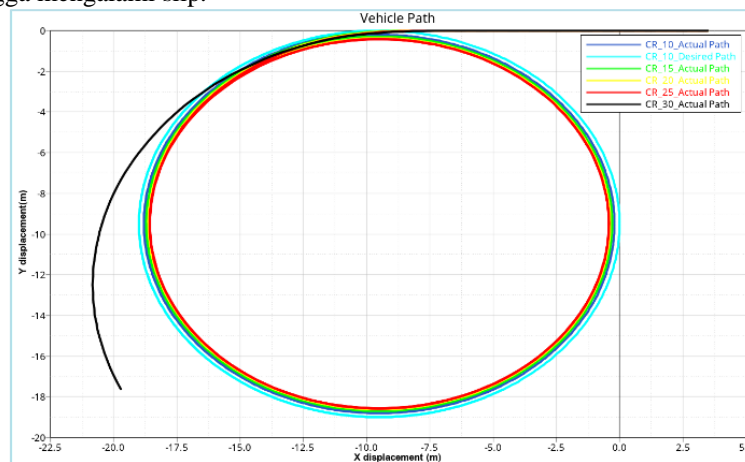
Gambar 7. Lateral Slip Pada Tiap Roda

Laju yaw berhubungan langsung dengan lateral acceleration kendaraan yang berputar dengan kecepatan konstan di sekitar radius konstan, oleh hubungan tersebut. Ketika kecepatan meningkat maka percepatan lateral kendaraan akan ikut bertambah diikuti dengan peningkatan yaw rate. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 8. Yaw Rate

Variasi kecepatan mempengaruhi kemampuan kemudi dalam mempertahankan sudut kemudi pada roda. Desain dan pembebanan pada model dirancang dalam kondisi oversteer dimana ketika radius putar yang dihasilkan lebih kecil seiring dengan bertambahnya kecepatan dapat dilihat pada grafik di gambar 4.14 semakin meningkat kecepatan maka radius lintasan yang dihasilkan semakin kecil namun kemampuan cengkraman roda depan semakin rendah sehingga kemungkinan untuk slip semakin tinggi. Batas kecepatan aman maksimum dalam melakukan turning sesuai dengan radius lintasan 9.5m adalah 25km per jam dapat dilihat pada kecepatan 30km/h truk sudah tidak mampu untuk mempertahankan kondisi cornering sehingga mengalami slip.



Gambar 9. Vehicle Path

Constant Speed Constant Radius, yang dengan memvariasikan kecepatan dalam simulasi didapatkan kecepatan maximum pada kendaraan agar tidak mengalami slip adalah antara $10 < V < 25$ km/h. pada kecepatan 25km/h *steering wheel angle* sudah mendekati *maximum* sehingga jika kecepatan ditingkatkan maka truk akan mengalami slip, dapat dilihat pada grafik pada kecepatan 30km/jam kondisi *steering angle* sudah melewati batas maksimum yang mungkin dihasilkan kendaraan untuk melakukan kondisi *cornering*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dibuat dapat ditarik kesimpulan :

- a. Ackerman Steering dirancang untuk mencegah kendaraan dengan muatan tinggi mengalami kondisi slip dengan cara membuat perbedaan sudut kemudi. Kondisi slip dapat dikurangi karena setiap roda memiliki jalur putaran masing-masing dan tidak bersinggungan satu sama lain
- b. Melalui pengujian *rolling* didapatkan perilaku dari roda depan :
 - Roll test dilakukan dengan memberikan pembebanan vertical terhadap roda melalui jack (Load Cell). Displacement tertinggi didapatkan total resultan pembebanan vertikal sebesar 20,9 kN yang dimana salah satu roda bergerak ke atas sejauh 40 mm dan roda yang lain bergerak ke bawah sejauh 40mm dengan total resultant force sebesar 17.03kN
 - Ketika mengalami displacement akibat pembebanan pada roda, terbentuk sudut simetris antara dua roda dengan sudut longitudinal truck. Sudut terbesar terbentuk ketika center roda berada pada titik perpindahan

sejauh 40mm dengan sudut toe sebesar -0.45° pada roda yang berada di atas dan 0.35° pada roda yang berada di bawah.

- Pembebanan vertikal pada roda pergerakan sudut caster dari sumbu imajiner roda, roda yang mengalami gerakan vertical ke atas akan mendapatkan sudut caster positif hingga $0,24^\circ$ dan roda yang berada di bawah akan mendapatkan sudut caster negative hingga 0.17° .
 - Ketika mengalami gerakan vertikal, sumbu vertikal roda dan sumbu vertikal kendaraan bila dilihat dari depan atau belakang membentuk sudut *camber*. Roda yang berada di posisi lebih tinggi membentuk *negative camber* hingga -2.3° dan roda yang berada di bawah membentuk *positive camber* hingga 2.45° .
 - *Steering test* dilakukan dengan menggerakkan kemudi hingga mencapai posisi maksimum (360°) steering test menghasilkan data *steering wheel angle* dengan nilai: *Inner Steering Angle* $\delta_i = 34.1^\circ$ dan *outer steering angle* $\delta_o = 19.7^\circ$. Berdasarkan data steering dan kondisi ackerman didapatkan ratio steering terhadap steering angle sebesar **13,4 : 1**
- c. Berdasarkan data steering radius pusat massa kendaraan dapat dihitung untuk mengetahui jalur dan radius lintasan minimum yang dapat dilalui kendaraan dengan kecepatan konstan. Berdasarkan perhitungan kinematik steering didapatkan radius minimum putar pusat massa model sebesar **R = 9.537mm ~ 9.5m**
- d. Constant Speed Constant Radius, yang dengan memvariasikan kecepatan dalam simulasi didapatkan kecepatan maximum pada kendaraan agar tidak mengalami slip adalah antara $0 < V < 20\text{km/h}$. pada kecepatan 20km/h *steering wheel angle* sudah mendekati maximum sehingga jika kecepatan ditingkatkan maka truk akan mengalami *slip*
- e. Variasi kecepatan mempengaruhi kemampuan kemudi dalam mempertahankan sudut kemudi pada roda. Desain dan pembebanan pada model dirancang dalam kondisi *oversteer* dimana ketika radius putar yang dihasilkan lebih kecil seiring dengan bertambahnya kecepatan dapat dilihat pada semakin meningkat kecepatan maka radius lintasan yang dihasilkan semakin kecil. Berdasarkan simulasi yang dilakukan dapat dilihat bahwa kecepatan terbaik untuk melakukan putaran dengan radius lintasan 9.5m adalah 10km/jam dan kecepatan maximum sebelum truk mengalami slip adalah 25km/jam.

5. Daftar Pustaka

- [1]. Zhao Leilei,dkk, 2020, "Truck Handling Stability Simulation and Comparison of Taper-Leaf and Multi-Leaf Spring Suspension with The Same Vertical Stiffness".Article Applied Science, V
- [2]. Paraskevopoulos Elias, Potosakis N & Natsiavas S,2017. "An Augmented Lagrangian Formulation for the Equation of Motion of Multibody Systems Subject to Equality Constraints" Procedia Engineering, '199, 747-752
- [3]. Prasitiyo W, Fiebig W, 2021, "Multibody Simulation and Statical Comparison of The Linear and Progressive Rate Double Wishbone Suspension Dynamical Behavior". Elsevier '120, 13-17
- [4]. Gawadalkar Udav U, M. Ranjith, Habin Anshej, 2014,Design, Analysisi and Optimization of Suspension System for an Off Road Car. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), '3,2278-0181
- [5]. Gowd G Harinat, Goud E Vebugopal.,2012, Static Analysisi of Leaf Spring.International Journal of Engineering Science & Technology (IJEST), '4, 0975-5462
- [6]. Husaini, Handayani Liza Rizqi,Ali Nurdin, Sadrawi Muammar, 2013, Failure Analysis of Fractured Leaf Spring as the Suspension System Applied on the Dump Truck, '892, 89-88
- [7]. Rohman K, Rika Qoryah R, Muttaqin A, 2021, Analisis Pengaruh Tebal Plat Terhadap Karakteristik Mekanik Pegas Daun Pada Prototipe Mobil Fish Car UNEJ (FCU) MUDSKIP.TEKNOSAINS, '10, 141-151
- [8]. Alexandru C., 2020, Static Analysis of Vehicle Suspension with Leaf Spring and Reaction Bars.IOP Publishing:. Series: Materials Science and Engineering. '10,141-151
- [9]. Kuo Tsai-Chi, Chiu Ming-Chuan, Ching Wu Hshun, Yang Tzu-I, 2019, 3The Circular Economy of LCD Panel Shipping in Packaging Logistics System.Resouces Conservating & Recycling. '1,435-444
- [10]. Comi Antonio, Paolo Delle Site, Fillippi Francesso, Nuzzolo. 2012,Urban Freight Transport Demand Modelling a State of The Art.European Trnasport issue '51,1-10
- [11]. Aly Ayman A, Salem Farhan A, 2013, Vehicle Suspension Systems Control. '2. 1-12
- [12]. Morse Measurements LLC, 2012, Summary of Standard K&C Test and Reported Results.Morse Measurement LLC '3,1-14
- [13]. Jing Lixin, Wu Liguang, Li Xuepeng, Zhang Yu, 2013, Study on Kinematic and Compliance Test of Suspension..IOP Publishing:. Series: Materials Science and Engineering. '10,1-23
- [14]. Fejes Peter, 2016, Estimation of Steering Wheel Angle in Heavy-Duty Trucks.Project UPSALA UNIVERSITY. '10,1-8
- [15]. Gautam Puneet dkk, 2021, Designing Variable Ackerman Steering Geometry for Formula Student Race Car. International Journal of Analytical Experimental and Finite Element Analysis (IJAEFEA), '8. 1-11
- [16]. Bakwill,James, 2018, Performance Vehicle Dynamics Engineering and Application. Buttenwoth Heinemann.

- [17]. M. Abe, W. Manning, 2009, Vehicle Handling Dynamics Theory and Application, '9,5-46.