

PEMODELAN DAN ANALISIS PENGARUH JUMLAH PENUMPANG DAN PERGESERAN PUSAT GRAVITASI TERHADAP RESPON DINAMIS TRANSIEN KENDARAAN

Miftahul Ulum¹, Ardi Noerpamoengkas², Gatot Setyono³, Moch. Rhizky Ariyansyah⁴

Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya^{1,2,3,4}

e-mail: ulum@itats.ac.id

ABSTRACT

The research was provoked by the great number of four-wheel and two-wheel vehicles with various suspension systems. The research question is "Do the movement of center of gravity and the increasing number of passengers influence dynamic response on vehicle transient?". It aimed at figuring out the influence of center of gravity and the number of passenger toward the dynamic response on vehicle transient. The model of half car with three seats was used in this research. The parameter data derived from one of international journals. The research method used mathematic analytic by numeric software with Simulink integration. The response graph showed that the movement of center of gravity and the increasing number of passengers influenced the dynamic response of vehicle transient. The farther center of gravity from the mass center, the greater responses of displacement, velocity, and acceleration from the mass are. The greater number of passengers, the lower the responses on displacement, velocity, and acceleration from the passenger seat are.

Keywords: modeling, analysis, gravitation center, total passengers, transient.

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh banyaknya kendaraan bermotor roda empat dan roda dua yang menggunakan sistem suspensi bermacam-macam jenisnya. Adapun yang menjadi masalah pada penelitian ini adalah "Apakah pergeseran letak titik pusat gravitasi dan bertambahnya jumlah penumpang berpengaruh pada respon dinamis transien kendaraan?". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pergeseran titik pusat gravitasi dan banyaknya jumlah penumpang terhadap respon dinamis transien kendaraan. Dalam penelitian ini menggunakan model kendaraan setengah mobil dengan tiga tempat duduk dan data parameter diambil dari salah satu journal internasional. Metode penelitian menggunakan analitik matematik dengan *software* numerik yang terintegrasi dengan Simulink. Hasil grafik respon yang telah didapat dan dianalisa menunjukkan bahwa pergeseran letak titik pusat gravitasi dan bertambahnya jumlah penumpang mempengaruhi respon dinamis transien kendaraan, semakin jauh letak titik pusat gravitasi dari titik massa maka respon *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* dari massa tersebut akan semakin besar dan semakin banyak jumlah penumpang maka respon *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* dari tempat duduk penumpang akan semakin rendah.

Kata kunci: pemodelan, analisis, pusat gravitasi, jumlah penumpang, transien.

PENDAHULUAN

Sistem suspensi pada kendaraan merupakan salah satu komponen yang memberikan kenyamanan saat berkendara. Tujuan utama diberikan sistem suspensi yang dipasang antara roda dan bodi kendaraan adalah untuk memberikan kenyamanan bagi pengemudi dan penumpangnya. Sistem suspensi pada umumnya terdiri dari pegas dan peredam. Pegas berfungsi untuk mengembalikan gerakan pada posisi setimbang seperti semula, sedangkan peredam berfungsi untuk memperkecil gerakan ayunan pegas agar memiliki amplitudo yang kecil. Getaran yang terjadi saat kendaraan melintasi permukaan jalanan yang tidak rata dapat diredam dengan penggunaan sistem suspensi pada kendaraan, sehingga kenyamanan pengemudi dan penumpang dapat terjamin [1,5]. penelitian terdahulu yang meneliti mengenai sistem suspensi antara lain adalah penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Faheem [2] dengan hasil penelitian model setengah dan seperempat kendaraan berhasil digunakan untuk menganalisa respon sistem suspensi tetapi keakuratan yang didapatkan tergantung pada keakuratan sistem parameter yang diukur. Kemudian Galal Ali Hasan [3] melakukan penelitian

dengan model yang sama, mendapatkan hasil semakin tinggi nilai koefisien redaman maka *displacement maximum sprung mass* akan semakin rendah.

Dari beberapa penelitian sebelumnya belum dilakukan adanya pengaruh akibat perubahan titik pusat gravitasi dan penambahan jumlah penumpang terhadap respon dinamis transien kendaraan. Penulis mencoba melakukan penelitian yang belum pernah dilakukan sebelumnya yaitu dengan mengetahui pengaruh jumlah penumpang dan pergeseran pusat gravitasi terhadap respon dinamis transien kendaraan. Penelitian ini dilakukan dengan metode simulasi menggunakan *software* numerik, model yang digunakan adalah setengah kendaraan. Dari hasil analisa dan simulasi didapatkan semakin jauh letak titik pusat gravitasi dari titik massa maka respon *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* dari massa tersebut akan semakin besar dan semakin banyak jumlah penumpang maka respon *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* dari tempat duduk penumpang akan semakin rendah atau bisa disimpulkan semakin jauh letak pusat gravitasi dengan tempat duduk penumpang maka akan mengurangi kenyamanan dalam berkendara, dan apabila semakin banyak jumlah penumpang maka akan menambah kenyamanan dalam berkendara.

TINJAUAN PUSTAKA

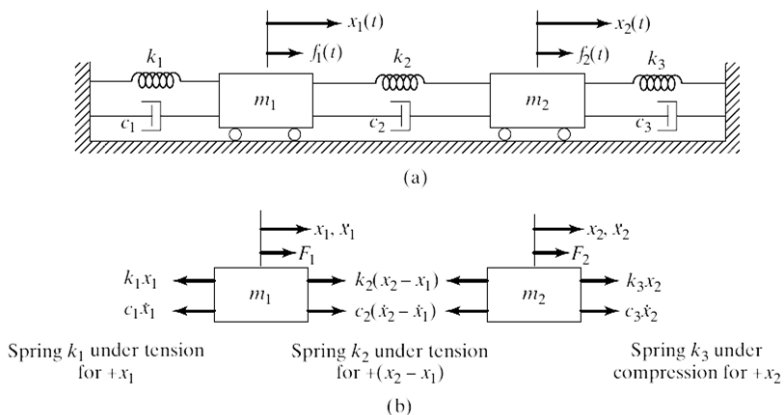
Sistem Dua Derajat Kebebasan

Sistem pegas massa dua derajat kebebasan dengan redaman viscous dapat dilihat pada gambar 1a. Gerakan dari sistem dideskripsikan secara lengkap oleh koordinat $x_1(t)$ dan $x_2(t)$ yang menentukan posisi massa m_1 dan m_2 pada waktu t dari posisi setimbang. Gaya luar $F_1(t)$ dan $F_2(t)$ beraksi pada massa m_1 dan m_2 . Untuk free body diagram massa m_1 dan m_2 dapat dilihat pada gambar 1b. Penerapan hukum kedua Newton pada masing-masing massa menghasilkan persamaan:

$$m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2 x_2 = f_1 \dots\dots (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 - c_2 \dot{x}_1 + (c_2 + c_3) \dot{x}_2 - k_2 x_1 + (k_2 + k_3)x_2 = f_2 \dots\dots (2)$$

Dapat dilihat bahwa persamaan (1) berisi hubungan yang melibatkan x_2 (yaitu $-c_2 \dot{x}_2$ dan $-k_2 x_2$), di mana persamaan (2) berisi hubungan yang melibatkan x_1 (yaitu $-c_2 \dot{x}_1$ dan $-k_2 x_1$).



Gambar 1. a) Sistem pegas peredam dua derajat kebebasan, b) *free body diagram* [4]

Oleh karena itu, dapat diperkirakan bahwa gerakan massa m_1 akan mempengaruhi gerakan masa m_2 , dan sebaliknya. Maka persamaan 1 dan 2 dapat ditulis

$$[m]\ddot{\vec{x}}(t) + [c]\dot{\vec{x}}(t) + [k]x(t) = \vec{f}(t) \dots\dots (3)$$

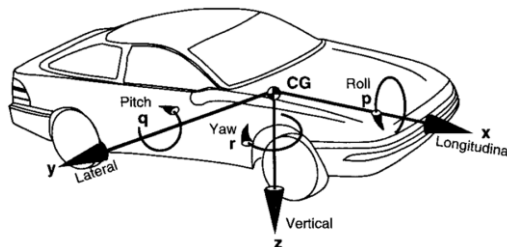
Di mana $[m]$, $[c]$, dan $[k]$ adalah matrik massa (kg), redaman (Ns/m), dan kekakuan pegas (kN/m).

Sistem Suspensi dan *Lumped Mass*

Sistem suspensi pada sebuah kendaraan mempengaruhi kenyamanan saat berkendara dan respon gerakan kendaraan. Fungsi utama dari sebuah sistem suspensi antara lain, menjaga ban tetap bersentuhan dengan permukaan jalan, menahan gerakan *rolling* pada *chassis*, mempertahankan roda agar kemudi setir tetap stabil terhadap permukaan jalan, memberikan gaya reaksi yang diakibatkan oleh ban, yaitu gaya longitudinal (akselerasi dan pengereman), dan gaya lateral (*cornering*), memberikan gerakan vertikal sehingga roda dapat mengikuti permukaan jalan yang tidak rata, serta menjaga kondisi kendaraan tetap stabil, dan menambah kenyamanan pada kendaraan.

Sebuah kendaraan bermotor terbuat dari banyak komponen-komponen yang saling berhubungan dan tertutup oleh bagian *exterior*. Saat ini, banyak analisa dasar menerapkan konsep tersebut, semua komponen kendaraan bergerak bersamaan. Sebagai contoh, pada saat pengereman seluruh kendaraan mengalami perlambatan sebagai satu kesatuan. Dengan demikian, kendaraan tersebut dapat diartikan sebagai satu kesatuan *lumped mass* yang berlokasi di pusat gravitasinya (*Center of Gravity*) dengan nilai massa dan inersia yang sesuai. Untuk analisa percepatan, pengereman, dan belokan, satu massa sudah mencukupi. Untuk analisa kenyamanan berkendara, seringkali diperlukan memisahkan roda dari satu kesatuan *lumped mass*. Dengan begitu, satu kesatuan *lumped mass* kendaraan mewakili *body* adalah "*sprung mass*" dan roda-rodanya adalah "*unsprung mass*" [5].

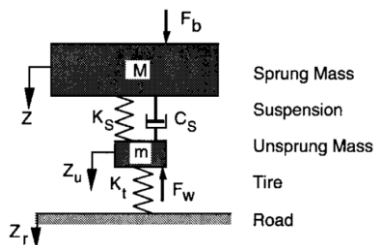
Untuk gambaran *single mass*, sebuah kendaraan diibaratkan sebagai satu buah massa yang terkonsentrasi pada pusat gravitasinya (*CG*) seperti pada gambar 2. Titik pusat massanya berada di *CG*. Dengan rotasi momen inersia yang sesuai, titik pusat massa secara dinamis sama dengan kendaraan itu sendiri untuk semua gerakan yang mana kendaraan tersebut dapat diasumsikan sebagai *rigid*.



Gambar 2. Sistem sumbu kendaraan SAE [5]

Model Analisa Suspensi

Sebagian besar penelitian tingkat dasar suspensi menggunakan model sederhana untuk analisa dinamis kendaraan. Model umum yang biasa digunakan terdiri dari *sprung mass* yang ditopang oleh sistem suspensi pada masing-masing roda. Sebagai contoh sederhana untuk analisa dinamis suspensi adalah model seperempat mobil (*quarter-car model*) yang dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Model seperempat mobil [5]

Perilaku dinamis untuk model seperempat mobil pada getaran *steady-state* dapat diperoleh dengan menggunakan hukum kedua Newton untuk *sprung mass* dan *unsprung mass*. Dengan menggambarkan *free-body diagram* pada masing-masing massa, persamaan diferensial untuk *sprung mass* dan *unsprung mass* seperti berikut:

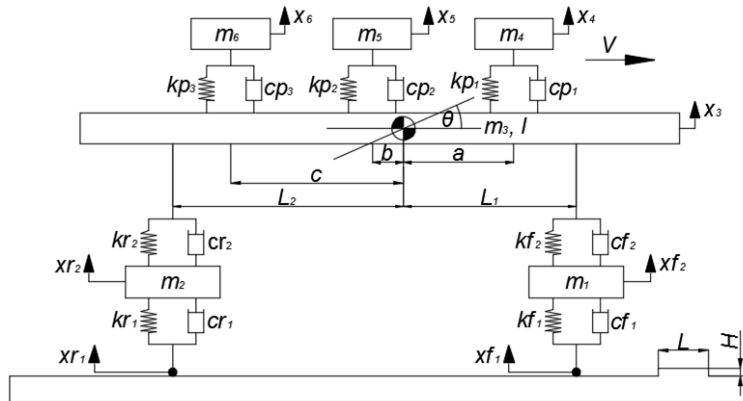
$$m\ddot{Z}_u + C_s\dot{Z}_u + (K_s + K_t)Z_u = C_s\dot{Z} + K_sZ + K_tZ_r + F_w \dots\dots (4)$$

Dimana Z adalah *sprung mass displacement* (m), Z_u *unsprung mass displacement* (m), Z_r *road displacement* (m), F_b gaya pada *sprung mass* (N), F_w gaya pada *unsprung mass* (N), K_s kekakuan pegas (kN/m), K_t kekakuan ban (kN/m), dan C_s koefisien redaman suspensi (Ns/m).

METODE

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan simulasi. Model kendaraan yang akan disimulasikan adalah model setengah mobil dengan tiga tempat duduk. Pertama dengan memvariasikan jumlah penumpang yang ada di dalam mobil. Kedua memvariasikan letak *Center of Gravity* (CG) mobil. Simulasi dilakukan dengan menggunakan *software* komputasi numerik [6].

Simulasi dengan variasi jumlah penumpang dilakukan dengan penambahan satu persatu jumlah penumpang ke dalam kursi yang ada, yaitu $m_4, m_5,$ dan m_6 dengan massa penumpang per kursi adalah 85 kg, hasil yang dikeluarkan adalah grafik respon getaran. Sedangkan variasi letak *center of gravity* beban penumpang hanya diberikan pada tempat duduk depan atau m_4 dengan masa 135 kg, dengan L_1 adalah 1,098 m, nilai parameter L_2 adalah 1,568 m, nilai parameter a adalah 0,7 m, nilai parameter b adalah 0,2 m, dan nilai parameter c adalah 1,1 m. Kemudian divariasikan dengan menggeser posisi CG kebelakang sepanjang 0,2 m sebanyak 2 kali, hingga akhirnya nilai L_1 menjadi 1,498 m dan L_2 menjadi 1,168 m. Model konfigurasi ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4. Model konfigurasi setengah mobil dengan tiga tempat duduk

HASIL DAN PEMBAHASAN

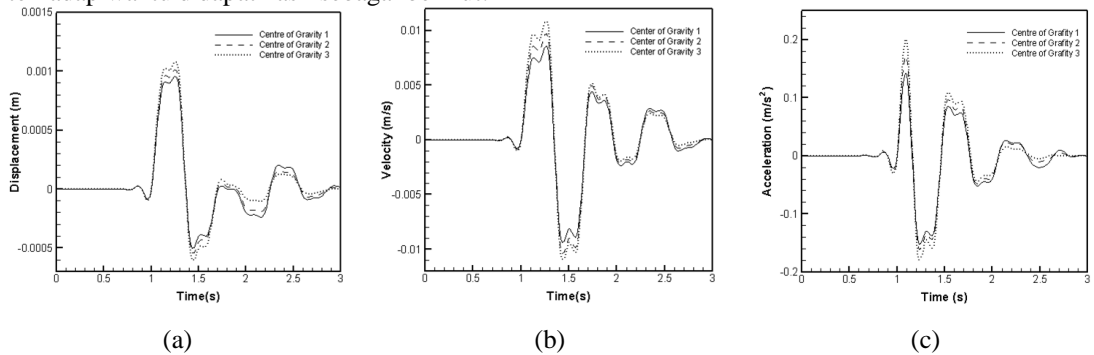
Model Matematis

Penurunan persamaan gerak pada model setengah mobil dengan tiga tempat duduk terdapat 7 derajat kebebasan yaitu 6 gerak translasi dan 1 gerak rotasi. Setiap bagian dari masa m_1 sampai dengan m_6 diubah dalam bentuk *state variable*, lalu dirubah dalam bentuk simulasi menggunakan *software numeric* dengan beberapa parameter yang dibutuhkan. Output simulasi berupa grafik respon *displacement*, *velocity*, *acceleration*, terhadap waktu. Persamaan gerak menggunakan rumus dasar sebagai berikut.

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = f(t) \dots\dots (5)$$

Hasil Respon Variasi Letak Titik CG dan Jumlah Penumpang

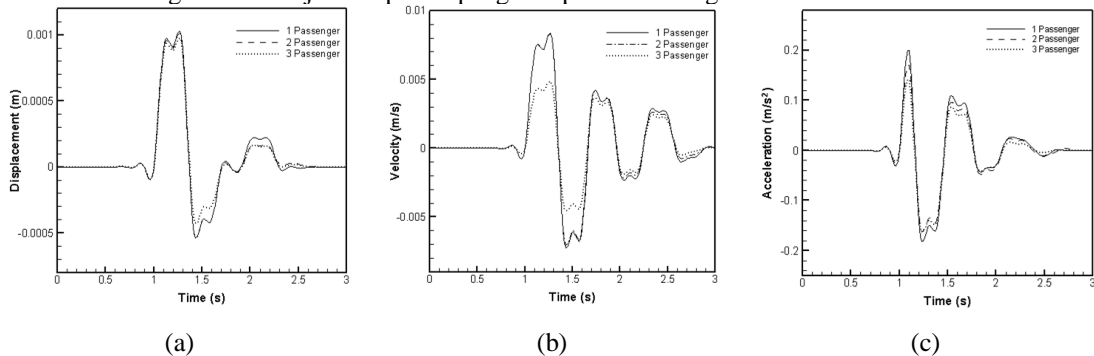
Pada variasi letak titik pusat gravitasi fungsi *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* terhadap waktu didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 5. a) Grafik respon *displacement*, b) grafik respon *velocity*, c) grafik respon *acceleration*

Dari hasil respon yang didapat seperti pada gambar 5 diatas dapat dianalisis bahwa pada variasi letak titik CG dapat mempengaruhi respon kendaraan saat melewati *speed bump*, dimana respon tertinggi kendaraan terdapat pada CG 3 dan terendah pada CG 1. Hal ini disebabkan karena pada kondisi dimana titik CG 3 memiliki jarak dengan masa m_4 adalah 1,1 m, lebih panjang jika dibandingkan dengan titik CG 1 yang memiliki jarak sebesar 0,7 m. Sehingga momen torsi yang terjadi pada masa m_4 lebih besar pada kondisi CG 3 dan mengakibatkan *displacement* lebih tinggi. Sedangkan pada masa m_5 , m_6 memiliki tren yang sama dimana kondisi CG 3 memiliki respon yang tertinggi baik *Velocity* dan *acceleration*.

Sedangkan variasi jumlah penumpang didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 6. a) Grafik respon *displacement*, b) grafik respon *velocity*, c) grafik respon *acceleration*

Dari gambar 6 diatas dapat di analisis bahwa respon yang di timbulkan akibat kendaraan saat melewati *speed bump* dengan variasi jumlah penumpang 1, 2, dan 3 memiliki respon yang berbeda,

dimana pada saat kendaraan dengan 1 penumpang respon yang dialami kendaraan sangat besar jika dibandingkan dengan jumlah 3 penumpang. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan masa yang ada pada kendaraan, dimana 3 penumpang memiliki beban yang lebih berat jika dibandingkan dengan kondisi kendaraan 1 penumpang. Sehingga pegas pada sistem suspensi menerima beban yang lebih berat dan mengakibatkan *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* masa 3 penumpang paling rendah.

KESIMPULAN

Semakin jauh letak *CG* (*centre of Gravity*) dengan titik masa m_4 , m_5 , dan m_6 . Maka respon *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* akan semakin tinggi. Logikanya jika jarak pada tempat duduk kendaraan semakin jauh dari titik *CG* dapat mengurangi kenyamanan dalam berkendara. Sedangkan pada variasi jumlah penumpang adalah semakin banyak jumlah penumpang yang terdapat pada kendaraan atau semakin besar beban yang diterima kendaraan maka respon *displacement*, *velocity*, dan *acceleration* pada masa m_4 , m_5 , dan m_6 akan semakin rendah. Logikanya jika respon yang diterima kendaraan semakin rendah maka akan menambah kenyamanan penumpang dalam berkendara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Karyasa, Thungga B. 2010. "Dasar-Dasar Getaran Mekanis". Yogyakarta: Penerbit Andi.
- [2] Faheem, Ahmad. dkk. 2006. "The Suspension Dynamic Analysis for a Quarter Car Model and Half Car Model". Dhaka: 3rd BSME-ASME International Conference on Thermal Engineering.
- [3] Hassan, Gallal A. "Car Dynamics using Quarter Model and Passive Suspension, Part I: Effect of Suspension Damping and Car Speed". International Journal of Computer Techniques – Volume 1 Issue 2, 2014.
- [4] Rao, Singiresu S. 2010. "Mechanical Vibrations Fifth Edition". Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- [5] Gillespie, Thomas D. 1992. "Fundamentals of Vehicle Dynamics". Warrendale, Pennsylvania: Society of Automotive Engineers, Inc.
- [6] Abbas, Wael. dkk. 2013. "Optimal Seat and Suspension Design for a Half-Car with Driver Model Using Genetic Algorithm". Online Publish: Scientific Research.