

## **KINETO-DYNAMIC PADA VARIABLE GEOMETRY SUSPENSION (VGS)**

### **Ferly Isnomo Abdi**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : [ferlyabdi@unesa.ac.id](mailto:ferlyabdi@unesa.ac.id)

### **Unggul Wasiwitono**

Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

Email : [unggul@me.its.ac.id](mailto:unggul@me.its.ac.id)

### **Heru Arizal**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : [heruarizal@unesa.ac.id](mailto:heruarizal@unesa.ac.id)

### **Ali Hasbi Ramadani**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

Email : [aliramadani@unesa.ac.id](mailto:aliramadani@unesa.ac.id)

### **Abstrak**

Teknologi suspensi pada kendaraan memberikan efek kenyamanan dengan adanya peredam kejut dan efek keamanan dalam berkendara, sehingga menurunkan tingkat kecelakaan. Sistem suspensi dikembangkan dengan merubah konstruksi dan mekanisme serta adanya penambahan sebuah elemen kendali. *Variable Geometry Suspension* (VGS) adalah pengembangan sistem suspensi dengan menggunakan aktuator aktif berupa *single-link* yang digunakan untuk merubah geometri dari suspensi. Perubahan geometri dapat mempengaruhi kinerja dari sistem suspensi, sehingga diperlukan pendekatan pemodelan untuk menganalisis sistem kinerja dari VGS. Pemodelan VGS menggunakan model seperempat kendaraan dan model multi-bodi dengan persamaan gerak menggunakan model *kineto-dynamic* dengan tipe *double wishbone*. Metode analisis pada VGS menggunakan input berupa gundukan (*bumpy road*) untuk mendapatkan unjuk kerja sistem berupa percepatan bodi, defleksi suspensi, dan deformasi ban. Hasil yang didapatkan adalah VGS dengan model *kineto-dynamic* memiliki *range* 2 mm pada variasi sudut *single-link*. Pada nilai unjuk kerja berupa percepatan bodi dan deformasi ban antara model seperempat kendaraan dan multi-bodi memiliki bentuk osilasi yang sama hingga *steady*, sedangkan pada defleksi suspensi pada model *kineto-dynamic* berbeda pada osilasi pertama dengan waktu untuk *steady* sebesar 1,6 detik. Oleh karena itu, model *kineto-dynamic* dapat digunakan untuk mendekati sistem yang sebenarnya.

**Kata Kunci:** Suspensi Aktif, Kineto-dynamic, Multi-bodi, Seperempat Kendaraan.

### **Abstract**

*Suspension technology on the vehicle provides a comforting effect with shock absorbers and a safety effect in driving and reducing the accident rate. The suspension system was developed by changing the construction and mechanism as well as the addition of a control element. Variable Geometry Suspension (VGS) is the development of a suspension system by using an active actuator is Single-link which is used to change the geometry of the suspension. Geometry change can affect the performance of the suspension system, so a modeling approach is needed to analyze the performance of the VGS system. The VGS modeling uses a quarter-vehicle model and a multi-body model with an equation of motion using a kineto-dynamic model with a double-wishbone suspension type. The analysis method on the VGS uses input is bumpy-road to obtain system performance in body acceleration, suspension deflection, and tire deformation. The results of the VGS with the kineto-dynamic model has a range of 2 mm in the variation of the single-link angle, the performance values in the body acceleration and tire deformation between the quarter-vehicle and multi-body models have the same oscillations until steady, while the suspension deflection in the kineto-dynamic model differs in the first oscillation with a steady time of 1.6 seconds. Therefore, the kineto-dynamic model can be used to approximate the actual system.*

**Keywords:** Active Suspension, Kineto-dynamic, Multi-body, Quarter-car.

## **PENDAHULUAN**

Perkembangan teknologi pada sasis kendaraan semakin meningkat, khususnya pada sistem suspensi. Teknologi pengembangan suspensi bertujuan untuk

meningkatkan nilai kenyamanan dan keamanan pada teknologi kendaraan (Sutantra dan Sampurno, 2010). Efek kenyamanan didapatkan dari peredam kejut, sedangkan efek keamanan diperoleh karena roda selalu menapak pada jalan, sehingga kendaraan dapat ber-manuver dengan baik.

Efek tersebut juga dapat mencegah terjadinya kecelakaan dalam berkendara yang diakibatkan terjadinya slip antara roda dengan jalan.

Sistem suspensi terdapat 3 tipe berdasarkan sistem kendalinya, yaitu: suspensi pasif, suspensi semi-aktif, dan suspensi aktif (Xue, dkk, 2011). Suspensi pasif tidak memiliki sistem kendali, sehingga parameter pegas dan peredam tetap. Sistem suspensi semi-aktif seperti *Magneto-Rheological Dampers*, *Electro-Rheological Dampers*, dan *VSVD (Variable Stiffness Variable Dampers)* (Nugroho, 2016) yang dapat merubah parameter dari sistem suspensi. Sistem suspensi aktif mempunyai aktuator aktif yang dapat mengendalikan sistem secara langsung, sehingga performa suspensi lebih baik dari sistem pasif. Namun, penggunaan konsumsi energi yang besar dan dalam implementasinya tidak mudah mengakibatkan suspensi semi-aktif dan aktif tidak banyak diproduksi (Sharp dan Hassan, 1986).

*Variable Geometry suspension (VGS)* merupakan sebuah mekanisme yang dapat merubah panjang dari pegasnya dengan merubah geometri dari sistem suspensi (Sharp dan Hassan, 1986). Pengembangan mekanisme dari VGS adalah terdapat penambahan rantai atau *link* pada *unit* pegas dan peredam yang terhubung secara seri dan penggerakannya menggunakan motor servo. Teknologi VGS termasuk sistem suspensi aktif, namun secara implementasinya seperti sistem pasif (Arana dkk, 2012). *Pitch* dari sasis kendaraan dapat dipengaruhi oleh VGS (Nemeth dan Gaspar, 2011), sehingga pada (Arana dkk, 2012) dapat meningkatkan kenyamanan dan performa bermanuver dengan mereduksi *pitch* sebesar 15%.

Konsep pengembangan VGS pada penelitian (Arana dkk, 2015) menggunakan *single-link* sebagai aktuator untuk mengendalikan geometri dari suspensi, sehingga kinerjanya akan lebih unggul. Penelitian tersebut dengan pemodelan seperempat kendaraan pada VGS yang fokus untuk menganalisis mekanisme dari *single-link*, pemodelan motor yang digunakan sebagai aktuator dengan kendali PID (*Proportional Integral Derivative*) (Baghaeian dan Akbari, 2013) dan pengaplikasiannya pada sistem *bandwidth* rendah. Namun, pemodelan yang digunakan masih *linear*, sehingga konstruksi suspensi dan geometri belum dipertimbangkan.

Penelitian (Balike dkk, 2011) menggunakan model seperempat kendaraan sesuai juga pada (Yu dkk, 2017) dengan metode *kineto-dynamic*. Metode tersebut menggunakan pemodelan multi-bodi (*non-linear*) dengan model *equivalent* pada suspensi tipe *double wishbone* dengan *wheel spindle* arah vertikal untuk menganalisis respon dari sistem pasif. Model *Kineto-dynamic* mempertimbangkan konstruksi suspensi, defleksi ban arah lateral dan momen inersia ban, sehingga didapatkan pemodelan yang mendekati kondisi sebenarnya.

## TEORI

Sistem VGS dalam pemodelannya terdapat aktuator yang terpasang secara seri dengan gaya pegas dan peredam sesuai pada Gambar 1. Kedua nilai parameter konstantanya dapat langsung berubah saat aktuator bekerja. Pengembangan VGS untuk mendapatkan nilai kenyamanan dan keamanan yang lebih baik dari sistem pasif dan semi-aktif. VGS dapat meminimalkan kelemahan dari suspensi aktif yang menambah berat kendaraan dan konsumsi energi yang tidak sedikit (Arana dkk, 2017).

*Kineto-dynamic* dengan model seperempat kendaraan tipe *double wishbone* persamaan gerak dari sistem dinamisnya sesuai (Balike dkk, 2011) dengan metode *Lagrange's*. Lambang  $T$  merupakan energi kinetik, sedangkan  $V$  sebagai energi potensial, sehingga persamaannya sistem VGS sebagai berikut:

$$T = \frac{1}{2} m_s \dot{z}_s^2 + \frac{1}{2} m_u (\dot{y}_u^2 + \dot{z}_u^2) + \frac{1}{2} m_a (\dot{y}_a^2 + \dot{z}_a^2) + \frac{1}{2} I_{ux} \dot{\phi}^2 \quad (1)$$

$$V = \frac{1}{2} k_s (\Delta l_s)^2 + \frac{1}{2} k_t (\Delta l_t)^2 + \frac{1}{2} k_{tl} (y_u - \phi R)^2 \quad (2)$$

$$D = \frac{1}{2} c_s (\Delta \dot{l}_s)^2 + \frac{1}{2} c_t (\Delta \dot{l}_t)^2 \quad (3)$$

dengan  $I_{ux}$  merupakan massa inersia roda x-axis, sudut efektif roda dilambangkan  $R$ , kemudian nilai kekakuan ban arah lateral ( $k_{tl}$ ),  $\Delta l_s$  merupakan defleksi suspensi yang diasumsikan penjumlahan dari ( $u$ ) atau kendali input dengan  $I_{SD}$ , deformasi ban ( $\Delta l_t$ ), dan nilai  $m_a$  diasumsikan sangat kecil dan dapat diabaikan. Persamaan *kineto-dynamic* pada ( $\Delta l_s$ ) dan ( $\Delta l_t$ ) sesuai pada (Balike dkk, 2011) dengan  $\Delta l_t = z_u - z_r$  sebagai berikut:

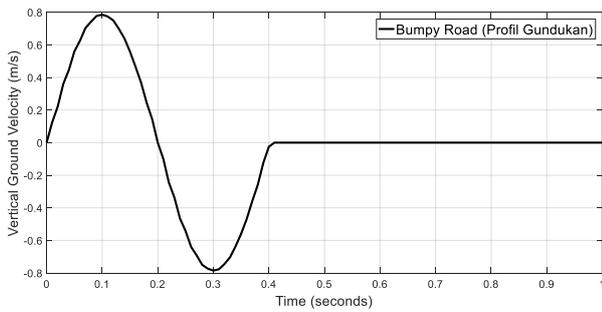
$$\Delta l_s = l_{SD} - \left[ (E_y - F_{y0})^2 + (E_z - (F_{z0} + z_s))^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \Delta \dot{l}_s = & \left[ \dot{E}_y (E_y - F_{y0}) \right. \\ & + (\dot{E}_z - \dot{F}_z) (E_z \\ & \left. - (F_{z0} + z_s)) \right] \left[ (E_y - F_{y0})^2 \right. \\ & \left. + (E_z - (F_{z0} + z_s))^2 \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (5)$$

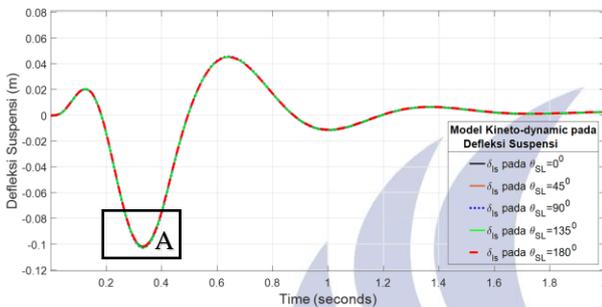
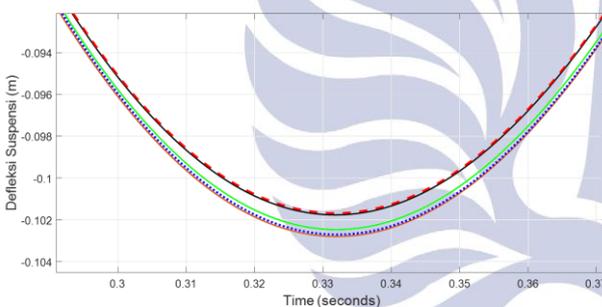
Persamaan secara umum dengan metode *Lagrange's* pada persamaan (6). Kemudian dari persamaan tersebut diturunkan terhadap  $z_s$  dan  $z_u$ , didapatkan persamaan (7) dan (8) dengan persamaan  $y_u$ ,  $\phi$ ,  $\dot{y}_u$ ,  $\dot{\phi}$ ,  $\ddot{y}_u$ ,  $\ddot{\phi}$ ,  $\Delta l_s$ , dan  $\Delta \dot{l}_s$  diperoleh dari hubungan kinematik suspensi sesuai pada Gambar 1.(a). Maka, didapatkan persamaan (9) dan (10) yang merupakan persamaan gerak dari VGS dengan model multi-bodi.

Kemudian berdasarkan (Arana dkk, 2015) dari persamaan *Lagrange's* (9) dan (10) dengan menggunakan





Gambar 2. Sinyal input berupa bumpy road (gundukan)

Gambar 3. Defleksi suspensi dengan berbagai variasi sudut single-link ( $\Delta\theta_{SL}$ )

Gambar 4. Perbesaran pada Gambar 3 Bagian A.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Blok Diagram

Pemodelan *Variable Geometry Suspension* (VGS) menggunakan blok diagram sesuai pada Gambar 1. (a) pada model multi-bodi dengan *kineto-dynamic* sebagai pendekatannya sesuai (Balike dkk, 2011), kemudian model *linear equivalent modelling* sesuai pada Gambar 1.(b). Dalam mendesain sistem dinamis dengan mudah maka digunakanlah model blok diagram. Sistem suspensi pasif VGS menggunakan persamaan (9) dan (10) pada model multi-bodi, kemudian model linear-nya atau seperempat kendaraan dengan persamaan (11) dan (12).

Dalam membuat blok diagram sistem dinamis tidak terlepas dari sinyal *input*. Pada penelitian ini sesuai (Chen dan Guo, 2005) menggunakan pemodelan *input* berupa gundukan atau *bumpy road* yang dibuat dari *sinusoidal signal* setengah periode sesuai persamaan (13). Sinyal yang didapatkan berupa gundukan sebesar 10 cm untuk

nilai maksimal magnitude-nya dan 0,4 detik untuk selang waktu *input*-nya. Namun, penelitian ini *input* yang digunakan adalah *vertical ground velocity* yang dapat dilihat pada Gambar 2.

### Analisis Pemodelan VGS

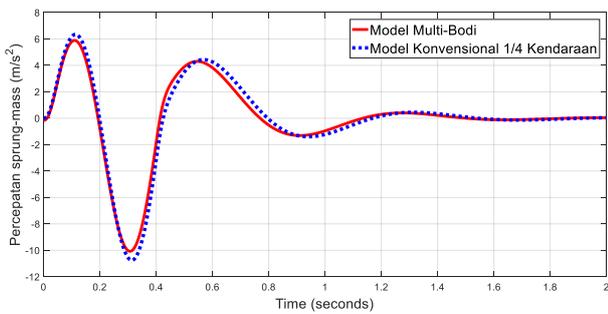
Penelitian ini menggunakan model multi-bodi pada sistem VGS untuk mendekati sistem suspensi yang sebenarnya, dengan konstruksi suspensi diperhitungkan kemudian juga momen inersia ban serta defleksi arah lateral ban. Pertama membuat blok diagram sistem multi-bodi VGS, kemudian simulasi menggunakan *input* gundukan, respon sistem suspensi yang didapatkan berupa performa, yaitu: percepatan bodi (*body acceleration*), defleksi suspensi (*suspension deflection*), dan deformasi ban (*tire deformation*). Penambahan 11 mm berupa single-link pada suspensi pasif dari VGS sesuai (Yu dkk, 2017) dengan memvariasikan  $\Delta\theta_{SL}$ , nilai defleksi suspensi yang didapatkan berubah-ubah.

Respon yang dihasilkan dari defleksi suspensi sesuai Gambar 3 menggunakan persamaan (9) dan (10) dengan sudut  $\Delta\theta_{SL}$  divariasikan antara  $0^\circ - 180^\circ$ . Pada Gambar 3 terdapat perubahan nilai defleksi suspensi dengan *range* sebesar 2 mm, pada  $\Delta\theta_{SL}$  sebesar  $0^\circ$  dan  $180^\circ$  nilai defleksi yang didapatkan terendah sesuai pada Gambar 4, sedangkan pada sudut antara  $45^\circ - 90^\circ$  nilainya tertinggi. Maka, sesuai pada penelitian (Yu dkk, 2017) dengan mengasumsikan  $\Delta\theta_{SL}$  sebesar  $90^\circ$  dalam mendesain sistem multi-bodi VGS.

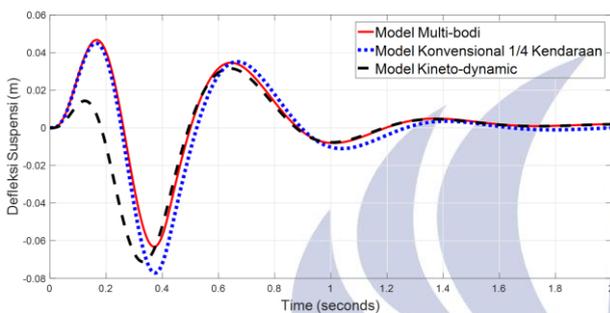
### Analisis Unjuk Kerja VGS

Analisis unjuk kerja sebuah sistem suspensi dapat diamati dengan menganalisis beberapa parameter sistem suspensi untuk mendapatkan tingkat kenyamanan dan keamanan dari sistem tersebut. Tingkat kenyamanan dapat ditentukan oleh percepatan bodi dari sebuah sistem suspensi setelah diberikan sinyal gangguan, sehingga semakin kecil nilai percepatan bodi yang dihasilkan maka tingkat kenyamanan semakin meningkat. Kemudian, tingkat keamanan dari sistem suspensi dapat ditentukan oleh nilai defleksi suspensi dan deformasi ban.

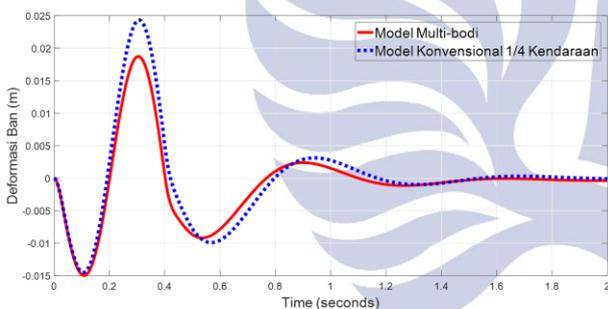
Pada gambar 5 merupakan respon percepatan bodi pada VGS dengan model multi-bodi dan model konvensional seperempat kendaraan. Respon dari kedua model tidak jauh berbeda dimana respon pada model multi-bodi sedikit lebih kecil daripada model konvensional seperempat kendaraan. Pada detik 0 – 0,2 puncak osilasi pada model multi-bodi sebesar  $5,9 \text{ m/s}^2$ , sedangkan  $6,2 \text{ m/s}^2$  pada model seperempat kendaraan. Pada detik 0,2 – 0,4 puncak osilasi pada model multi-bodi sebesar  $10 \text{ m/s}^2$ , sedangkan  $10,8 \text{ m/s}^2$  pada model seperempat kendaraan. Namun, keduanya dapat *steady* pada detik yang sama yaitu 1,6 detik.



Gambar 5. Perbedaan respon percepatan bodi pada berbagai pemodelan VGS



Gambar 6. Perbedaan respon defleksi suspensi pada berbagai pemodelan VGS



Gambar 7. Perbedaan respon deformasi ban pada berbagai pemodelan VGS

Respon defleksi suspensi dari VGS dapat dilihat pada Gambar 6, dimana terdapat model multi-bodi, seperempat kendaraan, dan model kineto-dynamic. Pada detik 0 – 0,2 puncak osilasi pada model multi-bodi sebesar 0,046 m dan 0,044 m pada model seperempat kendaraan, sedangkan pada model kineto-dynamic sangat jauh berbeda yaitu 0,016 m. Pada detik 0,2 – 0,4 puncak osilasi pada model multi-bodi sebesar 0,064 m dan 0,078 m pada model seperempat kendaraan dengan titik waktu pada 0,38 detik, sedangkan pada model kineto-dynamic sebesar 0,072 m dengan titik waktu 0,35 detik. Namun, ketiganya dapat *steady* pada detik yang sama yaitu 1,6 detik.

Pada Gambar 7 merupakan respon deformasi ban pada VGS dengan model multi-bodi dan model konvensional seperempat kendaraan. Pada detik 0 – 0,2 puncak osilasi pada model multi-bodi sebesar 0,0148 m, sedangkan

0,0145 m pada model seperempat kendaraan, sehingga keduanya saling berhimpit. Namun, respon dari kedua model berbeda pada detik 0,2 – 0,4 dimana respon pada model multi-bodi lebih kecil daripada model seperempat kendaraan. Pada model multi bodi puncak osilasinya sebesar 0,0157 m, sedangkan model seperempat kendaraan sebesar 0,0248 m. Keadaan *steady* dari kedua model pada waktu yang sama yaitu sebesar 1,6 detik, namun memiliki nilai *steady state error* yang berbeda.

## SIMPULAN

Hasil dari pembahasan mengenai model multi-bodi dengan pemodelan *Kineto-dynamic* pada *Variable Geometry Suspension* (VGS) adalah sebagai berikut:

1. Respon nilai defleksi suspensi dengan variasi sudut  $\Delta\theta_{SL}$  sebesar  $0^{\circ} - 180^{\circ}$  memiliki *range* sebesar 2 mm.
2. Model multi-bodi dengan pendekatan *kineto-dynamic* pada VGS dapat mendekati sistem yang sebenarnya.
3. Respon percepatan bodi, defleksi suspensi, dan deformasi ban pada model multi-bodi dan model seperempat kendaraan memiliki bentuk osilasi yang sama hingga *steady*. Namun, pada model seperempat kendaraan memiliki respon yang sedikit lebih besar dari multi-bodi.
4. Respon defleksi suspensi pada model *kineto-dynamic* berbeda pada osilasi pertamanya, namun osilasi kedua hampir sama antara model seperempat kendaraan dan multi-bodi serta ketiga model *steady* pada 1,6 detik.

## DAFTAR PUSTAKA

- Balazs Nemeth dan Peter Gaspar., 2011. *Integration of control design and variable geometry suspension construction for vehicle stability enhancement*. IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference (CDC-ECC) Orlando, FL, USA, pp. 7452–7457.
- Carlos Arana, Simos A. Evangelou, dan Daniele Dini., 2012. *Pitch angle reduction for cars under acceleration and braking by active variable geometry suspension*. IEEE Conference on Decision and Control, pp. 4390–4395.
- Carlos Arana, S. A. Evangelou, dan D. Dini., 2015. *Series active variable geometry suspension for road vehicle*. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 20(1), pp. 361–371.
- Carlos Arana, Simos A. Evangelou, dan Daniele Dini., 2017. *Series active variable geometry suspension application to comfort enhancement*. Control Engineering Practice, 59(15), pp. 111–126.
- H. Chen dan K.-H. Guo., 2005. *Constrained  $H^{\infty}$  control of active suspensions: An lmi approach*. IEEE Transactions on Control System Technology, 13(3), pp. 412–421.

- I Nyoman Sutantra dan Bambang Sampurno., 2010. *Teknologi dan Konstruksi Otomotif*. Surabaya: Gunawidya.
- K. P. Balike, S. Rakheja, dan I. Stiharu., 2011. *Development of kineto-dynamic quarter-car model for synthesis of a double wishbone suspension*. *Vehicle System Dynamics*, 49(1-2), pp. 107–128.
- Min Yu, Carlos Arana, dan Simos A. Evangelou., 2017. *Quarter-car experimental study for series active variable geometry suspension*. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, (16).
- R. S. Sharp dan S. A. Hassan., 1986. *Variable geometry active suspension for cars*. *Computing Control Engineering Journal*, 9(5), pp. 217–222.
- X. D. Xue, K. W. E. Cheng, Z. Zhang, D. H. Wang J. K. Lin, Y. J. Bao, M. K. Wong, dan N. Cheung., 2011. *Study of art of automotive active suspensions*. *International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA)*, (7), pp. 1–7.
- Yunias Rizki Nugroho, 2016. *Sistem pengendalian suspensi semi-aktif variable stiffness & variable damping (vsvd) menggunakan pid dan pole placement controller*. Techreport, Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

