

Analisis Pengaruh Perubahan Sudut *Single-link* Pada *Variable Geometry Suspension* Terhadap Gangguan Jalan Sinusoidal

Miftachul Huda¹, Ferly Isnomo Abdi^{2*}, Andita Nataria Fitri Ganda³, Dyah Riandadari⁴

^{1,2,3,4}Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia 60231

E-mail: [*ferlyabdi@unesa.ac.id](mailto:ferlyabdi@unesa.ac.id)

Abstrak: Sistem suspensi merupakan salah satu komponen kendaraan yang dapat menunjang keamanan pada saat berkendara. Sistem suspensi juga memiliki banyak jenis seperti sistem suspensi pasif, aktif, dan semi aktif. Namun, masih perlu dikembangkan sistem suspensi yang diharapkan mampu menunjang kenyamanan dengan konstruksi sederhana, biaya lebih terjangkau, dan performa yang lebih baik. Oleh karena itu, sistem *variable geometry suspension* (VGS) perlu di kembangkan. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan sudut *single-link* 0° hingga 180° dan menggunakan variasi kecepatan 20 rpm, 40 rpm dan 60 rpm. Kemudian pengambilan data dilakukan dengan memberikan *input* gangguan jalan berupa gundukan jalan dan gelombang sinusoidal. Hasil penelitian ini mengacu pada kekakuan suspensi (ks) dan peredam suspensi (cs) saja, sedangkan pada peredam pada *unsprung-mass* (ct) dan kekakuan pada ban (kt) diabaikan. Hasil uji dari semua perubahan sudut *single-link* pada *input* gundukan jalan terlihat bahwa sudut 90° memiliki nilai yang paling nyaman di semua variasi kecepatan dengan nilai 0,24 (Tidak ada keluhan) dengan kecepatan 20 rpm, 0,35 (Sedikit tidak nyaman) dan 0,59 (Sedikit tidak nyaman) pada kecepatan 40 rpm dan 60 rpm. Sedangkan pada *input* sinusoidal pada kecepatan 20 rpm sudut 45° memiliki nilai yang paling kecil 0,38 (Sedikit tidak nyaman) dan pada kecepatan 40 rpm dan 60 rpm sudut 0° memiliki nilai yang paling kecil yaitu 0,55 (Sedikit tidak nyaman) dan 0,73 (Cukup tidak nyaman). Nilai RMS tersebut mengacu pada ISO 2631.

Kata kunci: suspensi aktif, *variable geometry suspension*, nilai *root mean square*

Abstract: The suspension system is a crucial component of a vehicle that ensures safety while driving. There are various types of suspension systems, including passive, active, and semi-active. However, there remains a need to develop a suspension system that provides enhanced comfort, a simpler design, greater affordability, and improved performance. Consequently, further development of the Variable Geometry Suspension (VGS) system is essential. This study employed an experimental approach, varying the single-link angle from 0° to 180° and testing at speeds of 20 rpm, 40 rpm, and 60 rpm. Data collection involved introducing road disturbances in the form of bumps and sinusoidal waves. The research focused on suspension stiffness (ks) and suspension damping (cs), while disregarding the effects of damping on the unsprung mass (ct) and tire stiffness (kt). The results showed that for road bumps, a 90° single-link angle provided the highest comfort level across all speeds, with RMS values of 0.24 (No complaints) at 20 rpm, 0.35 (Slightly uncomfortable) at 40 rpm, and 0.59 (Slightly uncomfortable) at 60 rpm. For sinusoidal inputs, the 45° angle resulted in the lowest RMS value of 0.38 (Slightly uncomfortable) at 20 rpm. At 40 rpm and 60 rpm, the 0° angle achieved the lowest RMS values of 0.55 (Slightly uncomfortable) and 0.73 (Moderately uncomfortable), respectively. These RMS values conform to ISO 2631 standards.

Keywords: Active suspension, Variable Geometry Suspension (VGS), Root Mean Square (RMS) values.

© 2024, JRM (Jurnal Rekayasa Mesin) dipublikasikan oleh ejournal Teknik Mesin Fakultas Vokasi UNESA.

PENDAHULUAN

Alat Transportasi sangat penting bagi kehidupan masyarakat dalam kehidupan sehari-hari karena alat transportasi dapat memudahkan masyarakat dalam berpergian dari satu tempat ke tempat lainnya dengan cepat. Transportasi juga digunakan untuk kegiatan sebagai bagian dari sistem perekonomian. Untuk meningkatkan perekonomian di

suatu wilayah, jalan sebagai penghubung antara sentra-sentra produksi dengan daerah pemasaran. Panjang jalan di Indonesia mencapai 546.116 km namun dengan presentase kondisi rusak sebesar 15,9% atau sekitar 86.844 km (BPS, 2022). Oleh karena itu, Faktor utama dalam berkendara adalah keamanan dan kenyamanan pengendara.

Kenyamanan saat berkendara diperoleh dengan cara memperbesar berat *sprung mass* dibanding dengan *unsprung mass* karena apabila berat *sprung mass* lebih besar akibatnya adalah sangat kecil kemungkinan bodi kendaraan berguncang jika terkena gangguan jalan. Salah satu komponen pada kendaraan yang dapat menunjang kenyamanan adalah sistem suspensi. Menurut (Xue dkk, 2011), sistem pada suspensi dapat dibagi menjadi tiga, yaitu: suspensi pasif, suspensi semi-aktif, dan suspensi aktif. Suspensi pasif masih sering digunakan dibandingkan dengan sistem lainnya karena suspensi pasif memiliki biaya produksi yang lebih terjangkau dengan konstruksinya sederhana dan mudah digunakan. Sistem suspensi aktif adalah sistem suspensi dengan aktuator aktif yang dipasang secara paralel pada peredam dan pegas untuk mendapatkan performa yang lebih baik dari sistem suspensi pasif. Akan tetapi, suspensi aktif dan semi-aktif memiliki harga jual yang mahal, konsumsi operasional energi yang besar, dan konstruksi yang tidak mudah. Oleh karena itu, perlu dikembangkan penelitian mengenai *variable geometry suspension* (VGS).

Variable geometry suspension (VGS) merupakan sistem suspensi yang dapat memberikan kenyamanan dengan variasi geometrinya. VGS sudah banyak mengalami perkembangan sejak puluhan tahun yang lalu. Pengembangan mekanisme VGS terdapat pada penambahan rantai atau *link* yang terhubung secara seri pada unit pegas dan peredam dengan menggunakan penggerak motor Servo (Abdi dkk, 2021). Teknologi VGS ini merupakan sistem suspensi aktif, namun pada penerapannya seperti sistem suspensi pasif (Arana dkk, 2012). Pada penelitian (Arana dkk, 2015) pengembangan VGS menggunakan konsep *single-link* sebagai aktuator untuk mengendalikan geometri dari suspensi, sehingga akan mendapatkan kinerja yang lebih unggul.

Penelitian tersebut menggunakan pemodelan motor sebagai aktuator dengan kendali PID (*Proportional Integral Derivative*). Namun, pemodelan yang digunakan pada penelitian tersebut masih *linear*, sehingga masih belum dipertimbangkan mengenai suspensi dan geometrinya. Oleh karena itu, untuk mendekati sistem suspensi yang sebenarnya dikembangkan model multi bodi (*non-linear*) dengan metode *kineto-dynamic* (Balike dkk, 2011). Menurut (Abdi dkk, 2021) sistem VGS metode *kineto-dynamic* dengan model yang mempertimbangkan konstruksi suspensi dan momen inersia ban, sehingga akan mendapatkan pemodelan yang mendekati suspensi sebenarnya. Oleh karena itu, dibuat *prototype* VGS untuk mengetahui pembuktian secara langsung. *Prototype* adalah model kerja sederhana yang dikembangkan dalam skala sebenarnya sebelum di produksi secara massal. Perancangan *prototype* VGS bertujuan untuk merancang struktur *single-link* dengan mempertimbangkan batasan ruangan pada sasis mobil

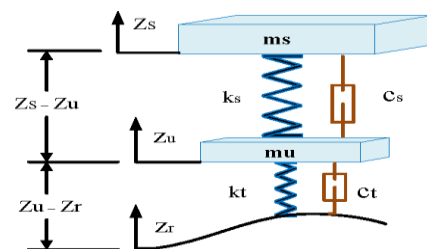
dan menyesuaikan sistem VGS didalam mobil tanpa memodifikasi suku cadang dan bodi kendaraan.

Oleh karena itu, penelitian tingkat kenyamanan saat berkendara dengan menggunakan *prototype variable geometry suspension* (VGS) perlu dilakukan. Penelitian ini menggunakan tipe suspensi *double wishbone* model seperempat kendaraan dengan berbagai variasi gangguan jalan. Nilai *input* dari penelitian ini adalah hasil grafik yang didapatkan pada respon setiap sudut perubahan *single-link* nya.

DASAR TEORI

A. Pemodelan sistem suspensi

Sistem suspensi pada kendaraan digunakan untuk mencegah getaran yang ditimbulkan akibat gangguan pada jalan. Sistem suspensi memiliki beberapa komponen terutama pegas dan peredam (*dumper*). Pemodelan sistem suspensi sederhana berfungsi untuk menganalisis hasil getaran kendaraan yang diakibatkan oleh gangguan jalan dengan menggunakan 2 *degrees of freedom* (DoF), sehingga pada penelitian ini sangat cocok menggunakan model seperempat kendaraan untuk memodelkan sistem suspensi yang sederhana. Pemodelan seperempat kendaraan dengan analisis 2 DoF dapat diperoleh dari hukum II Newton. Dari Gambar 1. dapat menjadi tolak ukur persamaan gerak dari suspensi pasif dengan m_s adalah simbol massa *sprung*, m_u adalah simbol massa *unsprung*, dengan peredam pada massa *sprung* (c_s), dan kekakuan pegas pada massa *sprung* (k_s), kekakuan ban (k_t), dan peredam pada massa *unsprung* (c_t), sedangkan percepatan, kecepatan, dan posisi dari massa *sprung* dapat disimbolkan dengan ($\ddot{z}_s$, $\dot{z}_s$, z_s), dan percepatan, kecepatan, dan posisi dari massa *unsprung* dapat disimbolkan dengan ($\ddot{z}_u$, $\dot{z}_u$, z_u), dan posisi *vertical ground* nya dengan simbol (z_r).



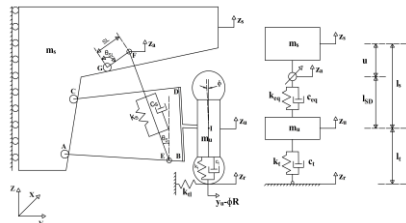
Gambar 1. Pemodelan seperempat kendaraan (Hamed dkk., 2014)

B. Variable Geometry Suspension

Tujuan dari pengembangan sistem VGS adalah untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik dari sistem suspensi pasif, aktif, maupun semi-aktif yang ditinjau dari segi kenyamanan berkendara dan beban sistem suspensi pada kendaraan yang lebih ringan dan juga hemat energi dengan keunggulan kinerja yang setara dengan sistem suspensi aktif (Arana dkk, 2015). Oleh karena itu, sistem VGS sangat mudah untuk diimplementasikan pada kendaraan bermotor dan mampu memberikan kinerja yang lebih baik dari pada sistem suspensi pasif, semi-aktif, dan aktif. Dalam

penelitian (Abdi dkk, 2021) pegas, peredam dan aktuator dipasang secara seri, sehingga nilai konstanta dari pegas dan peredam dapat berubah pada saat aktuator sistem VGS bekerja melalui alat ukur sensor yang sudah dipasang guna mendapatkan data yang diperlukan. pemodelan sistem VGS ini dapat dilihat pada Gambar 2.

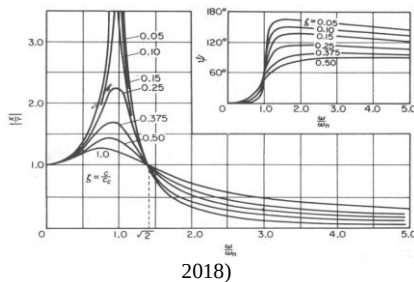
Gambar 2. Pemodelan VGS dengan metode *kineto-dynamic* (Abdi dkk, 2021)



C. Pemodelan Peredam

Pada Gambar 3. pengaruh konstanta peredam terhadap respon keamanan dan kenyamanan kendaraan. Jika Respon frekuensi yang dihasilkan kurang dari satu pada keadaan $\omega(\omega > \sqrt{2})$, maka isolasi getaran mungkin terjadi apabila $\omega(\omega > \sqrt{2})$. Oleh karena itu, mengontrol kendaraan apabila terdapat kondisi gerakan vertikal, *roll*, dan *pitch* secara berlebihan merupakan fungsi utama dari peredam. Sehingga didapatkan, Semakin kecil percepatan pada bodi kendaraan, maka semakin nyaman kendaraan, sedangkan semakin kecil nilai dari *road holding* kendaraan, maka semakin stabil kendaraan tersebut.

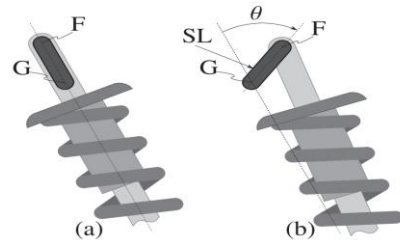
Gambar 3. Pengaruh redaman kenyamanan berkendara (Rao,



2018)

D. Pemodelan Single-link

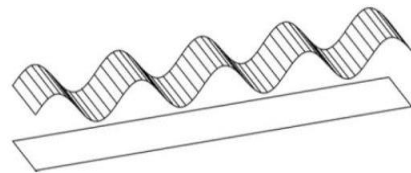
Pada sistem VGS *Single-link* digunakan sebagai kendali sistem suspensi. Panjang *single-link* pada *prototype* yang digunakan untuk menghubungkan antara body kendaraan dengan suspensi adalah 8 cm. Sudut referensi pada *single-link* yaitu 90°, *Single-link* harus dipasang dengan mempertimbangkan sudut referensinya untuk menyesuaikan sistem suspensi pasif kendaraan. Mekanisme *single-link* dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mekanisme single-link: a) Keadaan Equilibrium State, b) Keadaan Nominal Equilibrium State (Arana dkk, 2017)

E. Pemodelan gangguan jalan Sinusoidal

Gangguan ini biasanya dalam kondisi nyata dapat diartikan fungsi acak seperti contoh jalan ber paving. Gangguan sinusoidal ini juga dapat diasumsikan sebagai getaran yang harmonis seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Model Profil gangguan jalan sinusoidal (Dixon, 2009)

Berdasarkan Gambar 2.6 profil gangguan jalan sinusoidal dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Z(t) = Z_0 \sin \left(2\pi \frac{V}{\lambda} t + \phi \right) \dots\dots\dots$$

(Suprayogi, 2015)

Dimana :

- Z_0 : Amplitudo
- V : Kecepatan
- λ : Panjang Gelombang
- ϕ : Beda fasa
- t : Waktu

F. Standar Kenyamanan

Salah satu parameter yang dapat meninjau kenyamanan kendaraan adalah RMS (*Root Mean Square*). Nilai rata-rata efektif yang dapat diamati dari respon pemodelan dinamis disebut RMS (Koch dkk, 2010). RMS menentukan Standar kenyamanan dari percepatan getaran yang dihasilkan. Perhitungan percepatan RMS dapat menggunakan persamaan berikut :

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} (\ddot{z}_{s1}^2 + \ddot{z}_{s2}^2 + \ddot{z}_{s3}^2 + \dots \ddot{z}_{sn}^2)}$$

Pada penelitian ini standar kenyamanan yang digunakan adalah standar ISO 2631 dan menggunakan sensor akselerometer tipe MPU 6050 yang digunakan untuk mendeteksi percepatan pada *sprung mass* dan

unsprung mass. Penilaian kenyamanan terhadap suatu kendaraan dapat ditentukan oleh ketahanan pengguna kendaraan terhadap percepatan, perlambatan, dan getaran yang ditimbulkan oleh kendaraan (Rizki, 2018). Level kenyamanan ISO 2631 adalah jangkauan yang digunakan untuk menghitung nilai getaran mekanis dan beban kejut. Kriteria kenyamanan berdasarkan percepatan menurut ISO 2631 dapat dilihat pada Tabel 1.

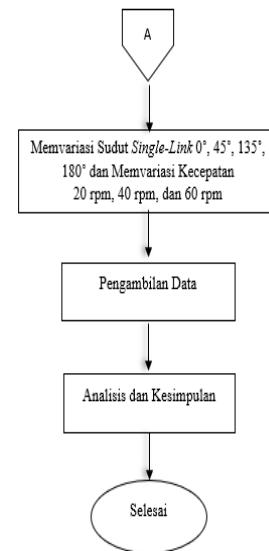
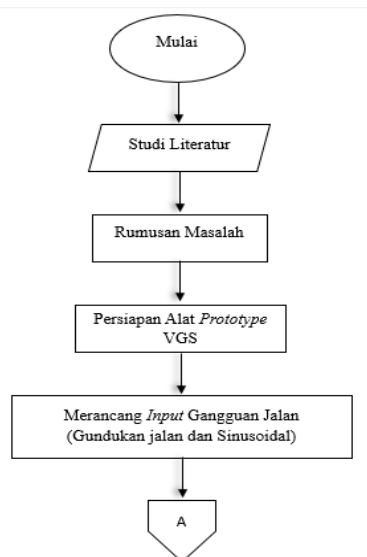
Tabel 1. Tabel Kenyamanan Berkendara berdasarkan ISO 2631

No.	Getaran	Keterangan
1	$>0,315 \text{ m/s}^2$	Tidak ada keluhan
2	$0,315 - 0,63 \text{ m/s}^2$	Sedikit tidak nyaman
3	$0,5 - 1 \text{ m/s}^2$	Agak tidak nyaman
4	$0,8 - 1,6 \text{ m/s}^2$	Tidak nyaman
5	$1,25 - 2,5 \text{ m/s}^2$	Sangat tidak nyaman
6	$>2 \text{ m/s}^2$	Amat sangat tidak nyaman

METODE

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penelitian eksperimen. Menurut (Payadnya dan Jayantika, 2018), penelitian eksperimen merupakan penelitian untuk mengetahui hubungan sebab akibat dengan cara menghasilkan produk baru atau menyempurnakan produk yang telah ada. Pada metode ini peneliti mengumpulkan data, setelah itu menganalisis dan mencari hasil kenyamanan VGS dari berbagai kondisi jalan.

Diagram alir dari metode penelitian dibuat agar semua alur penelitian terkonsep sesuai tahap-tahap dari penelitian, sehingga analisis dari suatu studi dapat diterangkan secara jelas dari alur penelitian. Oleh karena itu, diagram alir dapat diuraikan seperti Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir Penelitian

a. Menyiapkan studi literatur

Tahap awal pada penelitian ini yaitu mencari referensi seperti buku, skripsi, jurnal, dan artikel yang berkaitan dengan analisis kenyamanan VGS dari berbagai kondisi jalan:

b. Melakukan analisis masalah

Tahap kedua adalah melakukan analisis masalah tentang Kenyamanan pada *variable geometry suspension* (VGS). Hal ini bertujuan agar penelitian ini dapat memberikan solusi pada permasalahan yang ada dan juga bisa menghasilkan inovasi pada prototipe *Variable geometry suspension* (VGS).

c. Mempersiapkan alat prototype VGS

Setelah mengetahui masalah yang ada pada *Prototype Variable Geometry Suspension* (VGS) Tahap ketiga adalah mempersiapkan alat prototipe VGS untuk melakukan uji pengaruh perubahan sudut *single-link* pada VGS terhadap variasi kondisi jalan.

d. Merancang input gangguan jalan

Tahap keempat pada penelitian ini adalah merancang *input* gangguan jalan untuk menguji kenyamanan pada *prototype variable geometry suspension* (VGS). *Input* gangguan jalan yang digunakan dalam penelitian ini adalah gundukan jalan (*bumpy road*) dan sinusoidal.

e. Memvariasi sudut Single-link dan kecepatan

Langkah selanjutnya memvariasi sudut *single link* dan kecepatan pada prototipe VGS untuk mengetahui kenyamanan pada sudut yang berbeda. Variasi sudut *single link* yang digunakan pada penelitian ini adalah 0° , 45° , 145° , dan 180° dan variasi kecepatan yang digunakan adalah 20 rpm, 40 rpm, dan 60 rpm.

f. Pengambilan data

Tahap selanjutnya adalah mengambil data dari hasil uji yang dilakukan. Pengambilan data dilakukan untuk melihat hasil kenyamanan pada *prototype variable geometry suspension (VGS)*.

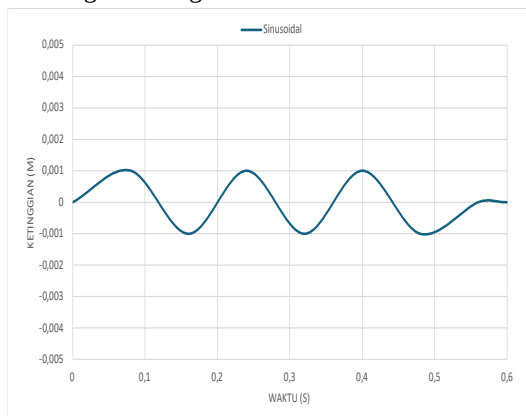
g. Analisis dan kesimpulan

Tahap terakhir yaitu membuat laporan untuk menunjukkan hasil dari analisis kenyamanan sistem suspensi *variable geometry suspension* terhadap berbagai kondisi jalan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Output Gangguan Jalan

Pada penelitian ini, gangguan jalan sinusoidal dapat diartikan sebagai jalan yang tidak rata tapi memiliki frekuensi gelombang yang harmonis. Dengan Amplitudo (Z_0) 0,006, panjang gelombang (λ) 0,14 dan variasi kecepatan yang berbeda, maka Gelombang sinusoidal dapat diasumsikan seperti pada Gambar 7. Dengan menggunakan persamaan memiliki frekuensi gelombang 6 hertz.



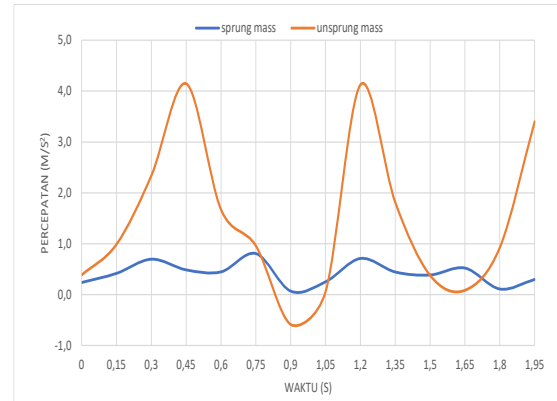
Gambar 7. Sinyal Output Sinusoidal

2. Hasil Uji Sudut *single-link* 0°

Pada Tabel 2. merupakan Hasil uji dari tiga kali percobaan sudut *single-link* 0° dengan kecepatan 20 rpm kemudian di rata-rata untuk melihat respon percepatan *sprung-mass* dan *unsprung-mass* nya. Gambar 8. menunjukkan respon percepatan *sprung-mass* dan *unsprung-mass* akibat sinusoidal. Percepatan rata-rata tertinggi pada grafik *sprung-mass* adalah 2,4 m/s² sedangkan *unsprung-mass*nya menunjukkan getaran tinggi pada percepatan 6,4 m/s² dan terendahnya adalah 0,2 m/s².

Tabel 2. Tabel hasil uji VGS

Waktu (s)	Hasil Uji 1		Hasil Uji 2		Hasil Uji 3		Rata-rata	
	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass
0	0,6	0,9	0,2	0,1	-0,1	0,2	0,2	0,4
0,15	0,0	3,6	0,3	1,0	1,0	-1,6	0,4	1,0
0,3	0,9	1,8	0,5	1,4	0,6	3,8	0,7	2,3
0,45	1,2	2,9	0,0	4,1	0,3	5,5	0,5	4,1
0,6	0,4	-3,2	0,5	3,9	0,4	4,3	0,4	1,7
0,75	1,8	3,1	0,5	1,6	0,1	-1,9	0,8	1,0
0,9	0,9	-0,6	-0,1	-1,0	-0,6	-0,2	0,1	-0,6
1,05	1,2	-1,5	0,0	0,8	-0,3	0,9	0,3	0,1
1,2	0,3	3,8	1,0	0,5	0,9	8,1	0,7	4,1
1,35	0,4	0,9	0,8	2,4	0,2	2,2	0,4	1,8
1,5	0,5	1,0	0,3	-1,0	0,3	1,1	0,4	0,4
1,65	0,8	-0,5	0,2	0,2	0,5	0,5	0,5	0,1
1,8	1,4	0,0	0,4	1,0	-1,4	1,8	0,1	0,9
1,95	0,1	5,5	0,9	4,3	-0,1	0,4	0,3	3,4



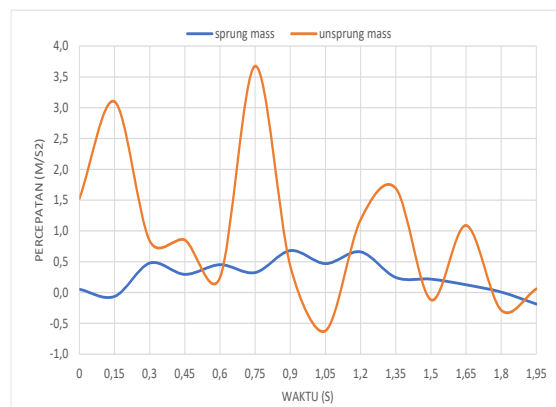
Gambar 8. Respon percepatan pada sudut *single-link* 0°

3. Hasil Uji Sudut *single-link* 45°

Pada Tabel 3. merupakan Hasil uji dari tiga kali percobaan sudut *single-link* 45° dengan kecepatan 20 rpm kemudian di rata-rata untuk melihat respon percepatan *sprung-mass* dan *unsprung-mass* nya. Gambar 9. menunjukkan respon percepatan *sprung-mass* dan *unsprung-mass* akibat sinusoidal. Percepatan rata-rata tertinggi pada grafik *sprung-mass* adalah 2,9 m/s² sedangkan *unsprung-mass*nya menunjukkan getaran tinggi pada percepatan 4,6 m/s² dan terendahnya adalah -6,9 m/s².

Tabel 3. Tabel hasil uji VGS

Waktu (s)	Hasil Uji 1		Hasil Uji 2		Hasil Uji 3		Rata-rata	
	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass
0	0,2	1,7	0,8	1,6	-0,9	1,4	0,1	1,5
0,15	-1,9	-0,2	0,7	6,0	1,0	3,5	-0,1	3,1
0,3	-0,3	1,8	0,6	0,6	1,1	0,2	0,5	0,8
0,45	-0,1	5,6	-0,1	-1,5	1,0	-1,5	0,3	0,9
0,6	-0,1	0,8	-0,3	0,4	1,7	-0,5	0,5	0,2
0,75	-1,0	4,4	1,4	6,2	0,6	0,5	0,3	3,7
0,9	-0,1	-0,5	0,7	1,2	1,4	0,6	0,7	0,4
1,05	-0,6	-0,6	0,7	-0,9	1,3	-0,4	0,5	-0,6
1,2	0,5	2,0	0,8	1,3	0,7	0,2	0,7	1,2
1,35	0,7	4,2	0,4	-0,8	-0,4	1,7	0,2	1,7
1,5	0,9	-0,7	0,2	0,3	-0,5	0,1	0,2	-0,1
1,65	-0,7	0,4	0,7	6,2	0,4	-3,3	0,1	1,1
1,8	0,1	-6,4	-0,3	3,7	0,3	1,8	0,0	-0,3
1,95	-1,0	-0,7	1,2	0,7	-0,8	0,1	-0,2	0,1



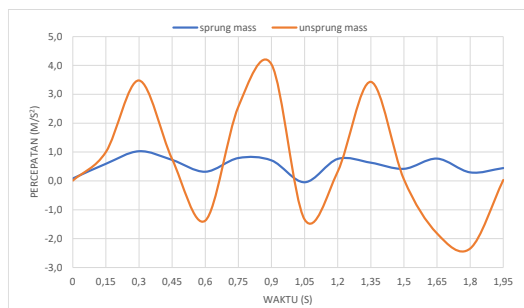
Gambar 9. Respon percepatan pada sudut *single-link* 45°

4. Hasil Uji Sudut *single-link* 90°

Pada Tabel 4. merupakan Hasil uji dari tiga kali percobaan sudut *single-link* 90° dengan kecepatan 20 rpm kemudian di rata-rata untuk melihat respon percepatan *sprung-mass* dan *unsprung-mass* nya. Gambar 10. menunjukkan respon percepatan *sprung-mass* dan *unsprung-mass* akibat sinusoidal. Percepatan rata-rata tertinggi pada grafik *sprung-mass* adalah 4,4 m/s² sedangkan *unsprung-mass*nya menunjukkan getaran tinggi pada percepatan 12,1 m/s² dan terendahnya adalah -14 m/s².

Tabel 4. Tabel hasil uji VGS

Waktu (s)	Hasil Uji 1		Hasil Uji 2		Hasil Uji 3		Rata-rata	
	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass
0	-0,2	0,6	0,7	-0,2	-0,3	-0,3	0,1	0,0
0,15	-0,3	1,7	0,7	0,6	1,3	0,6	0,6	1,0
0,3	1,3	4,3	1,5	3,8	0,3	2,3	1,0	3,5
0,45	0,8	2,2	0,2	-0,6	1,1	0,7	0,7	0,8
0,6	0,0	-3,7	-0,2	-1,0	1,1	0,6	0,3	-1,4
0,75	1,3	3,8	0,7	0,9	0,3	3,1	0,8	2,6
0,9	2,0	2,7	0,3	3,8	-0,2	5,6	0,7	4,0
1,05	0,6	0,2	0,1	-2,2	-0,8	-2,0	0,0	-1,3
1,2	1,5	-0,2	0,1	-0,3	0,7	1,4	0,8	0,3
1,35	1,0	7,6	0,5	3,3	0,4	-0,6	0,6	3,4
1,5	0,9	0,1	0,2	0,5	0,2	-0,4	0,4	0,0
1,65	0,6	-4,1	0,4	-0,8	1,3	-0,6	0,8	-1,8
1,8	-0,8	-5,6	1,2	-1,8	0,5	0,4	0,3	-2,3
1,95	0,4	-1,9	0,4	3,2	0,5	-1,3	0,4	0,0



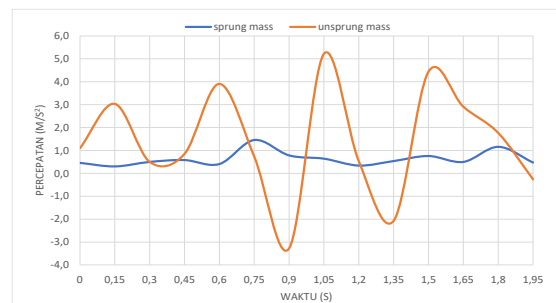
Gambar 10. Respon percepatan pada sudut *single-link* 90°

5. Hasil Uji Sudut *single-link* 135°

Pada Tabel 5. merupakan Hasil uji dari tiga kali percobaan sudut *single-link* 135° dengan kecepatan 20 rpm kemudian di rata-rata untuk melihat respon percepatan *sprung-mass* dan *unsprung-mass* nya. Gambar 11. menunjukkan respon percepatan *sprung-mass* dan *unsprung-mass* akibat sinusoidal. Percepatan rata-rata tertinggi pada grafik *sprung-mass* adalah 4,4 m/s² sedangkan *unsprung-mass*nya menunjukkan getaran tinggi pada percepatan 15,7 m/s² dan terendahnya adalah -9,8 m/s².

Tabel 5. Tabel hasil uji VGS

Waktu (s)	Hasil Uji 1		Hasil Uji 2		Hasil Uji 3		Rata-rata	
	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass
0	0,3	0,9	1,0	1,4	0,1	1,0	0,5	1,1
0,15	0,3	1,0	-0,2	1,8	0,9	6,3	0,3	3,0
0,3	0,6	2,0	0,1	-0,3	0,8	-0,1	0,5	0,5
0,45	2,4	2,6	-0,4	0,3	-0,3	-0,3	0,6	0,9
0,6	1,2	1,8	0,4	5,6	-0,3	4,3	0,4	3,9
0,75	0,9	1,3	2,3	3,0	1,2	-2,1	1,5	0,7
0,9	0,9	-10,5	1,3	-1,8	0,1	2,5	0,8	-3,3
1,05	0,3	14,0	0,9	1,3	0,7	0,4	0,6	5,2
1,2	0,5	1,3	0,2	-1,0	0,4	1,3	0,3	0,5
1,35	1,3	-0,1	-0,1	-6,9	0,5	0,9	0,5	-2,1
1,5	1,7	0,6	0,9	0,4	-0,4	12,4	0,8	4,4
1,65	0,2	6,5	1,3	0,9	0,0	1,3	0,5	2,9
1,8	0,8	0,3	1,9	4,4	0,8	0,6	1,2	1,8
1,95	0,6	0,3	0,5	-0,6	0,3	-0,5	0,5	-0,3



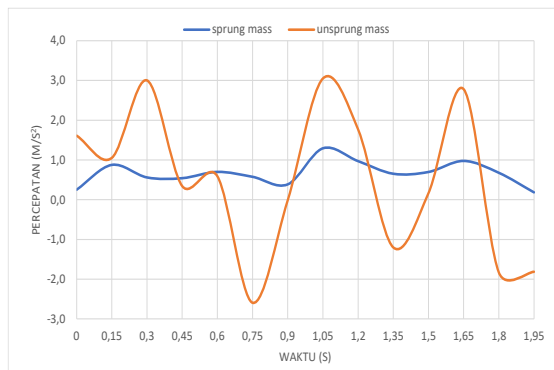
Gambar 11. Respon percepatan pada sudut *single-link* 135°

6. Hasil Uji Sudut *single-link* 180°

Pada Tabel 6. merupakan Hasil uji dari tiga kali percobaan sudut *single-link* 180° dengan kecepatan 20 rpm kemudian di rata-rata untuk melihat respon percepatan *sprung-mass* dan *unsprung-mass* nya. Gambar 12. menunjukkan respon percepatan *sprung-mass* dan *unsprung-mass* akibat sinusoidal. Percepatan rata-rata tertinggi pada grafik *sprung-mass* adalah 3,9 m/s² sedangkan *unsprung-mass*nya menunjukkan getaran tinggi pada percepatan 9,1 m/s² dan terendahnya adalah -7,8 m/s².

Tabel 6. Tabel hasil uji VGS

Waktu (s)	Hasil Uji 1		Hasil Uji 2		Hasil Uji 3		Rata-rata	
	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass	Sprung-mass	Unsprung-mass
0	-0,4	2,0	1,5	0,7	-0,4	2,1	0,3	1,6
0,15	0,7	-3,7	1,3	5,0	0,7	1,9	0,9	1,1
0,3	-0,2	1,4	1,4	5,6	0,5	2,0	0,6	3,0
0,45	1,5	-1,1	0,0	2,0	0,2	0,0	0,5	0,3
0,6	0,5	-3,0	0,3	1,4	1,3	3,3	0,7	0,6
0,75	0,5	-0,2	0,8	-3,8	0,4	-3,7	0,6	-2,6
0,9	0,7	-1,6	0,6	1,4	-0,1	0,1	0,4	0,0
1,05	2,3	5,2	1,3	2,0	0,4	2,0	1,3	3,0
1,2	0,2	0,4	1,4	-0,1	1,3	5,1	1,0	1,8
1,35	0,4	-0,2	1,5	-3,2	0,1	-0,2	0,7	-1,2
1,5	-0,1	1,2	1,1	0,2	1,1	-0,9	0,7	0,2
1,65	0,3	2,3	1,4	4,5	1,2	1,6	1,0	2,8
1,8	0,4	-1,3	1,1	-4,1	0,5	-0,1	0,7	-1,8
1,95	0,2	0,5	0,0	1,6	0,4	-7,5	0,2	-1,8



Gambar 12. Respon percepatan pada sudut *single-link* 180°

SIMPULAN

Respon perubahan sudut *single-link* pada *prototype Variable Geometry Suspension* terhadap input gangguan jalan berupa sinusoidal memiliki nilai yang berbeda-beda, tetapi pada semua sudut *single-link* mampu meredam getaran pada bodi kendaraan (*sprung-mas*) tetap stabil pada saat roda (*unsprung-mass*) melewati sinusoidal. Dapat dilihat nilai RMS pada sudut *single-link* 45° memiliki nilai yang paling kecil dengan nilai 0,38 (Sedikit tidak nyaman). Hasil tersebut memberikan kesimpulan bahwa sudut 45° memiliki nilai yang paling baik dan layak digunakan untuk kendaraan ketika melewati gangguan jalan berupa sinusoidal.

REFERENSI

- Abdi, F. I., Wasiwitono, U., Arizal, H., & Ramadani, A. H. (2021). KINETO-DYNAMIC PADA VARIABLE GEOMETRY SUSPENSION (VGS). *Jurnal Rekayasa Mesin*, 06, 57–62.
- Arana, C., Evangelou, S. A., & Dini, D. (2015). Series active variable geometry suspension for road vehicles. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 20(1), 361–372. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2014.2324013>
- Arana, C., Evangelou, S. A., & Dini, D. (2017). Series Active Variable Geometry Suspension application to comfort enhancement. *Control Engineering Practice*, 59(December 2016), 111–126. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2016.11.011>
- Badan Pusat Statistik. (2022). *Statistik Transportasi Darat* (Issue 1). BPS RI.
- Balike, K. P., Rakheja, S., & Stiharu, I. (2011). Development of kineto-dynamic quarter-car model for synthesis of a double wishbone suspension. *Vehicle System Dynamics*, 49(1–2), 107–128. <https://doi.org/10.1080/00423110903401905>
- Dixon, J. C. (2009). *Suspension Geometry and Computation* (Issue 1). United Kingdom
- Hamed, M., Tesfa, B., Gu, F., & Ball, A. D. (2014). A study of the suspension system for the diagnosis of dynamic characteristics. *ICAC 2014 - Proceedings of the 20th International Conference on Automation and Computing: Future Automation, Computing and Manufacturing*, September, 152–157. <https://doi.org/10.1109/ICAC.2014.6935478>
- Jazar, R. N. (2008). *Vehicle Dynamics Theory and Application*. Springer Science+Business Media, LLC.
- Koch, G., Fritsch, O., & Lohmann, B. (2010). Potential of low bandwidth active suspension control with continuously variable damper. *Control Engineering Practice*, 18(11), 1251–1262. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2010.03.007>
- Nugroho, Y. R. (2016). Sistem Pengendalian Suspensi Semi-Aktif Variable Stiffness & Variable Damping (Vsvd) Dengan Menggunakan Full State Feedback Control & Pid Kontroller. *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*. Surabaya.
- Payadnya, I, P. G. A., Jayantika, I. G. A. N. T. (2018). Panduan penelitian eksperimen beserta analisis statistik dengan SPSS. Sleman, Indonesia
- Rao, S. S. (2018). Mechanical Vibrations Sixth Edition in SI Units. In *Mechanical Vibrations* (6th ed.). Pearson Education, Inc.
- RIZKI, N. K. (2018). *Perancangan Kontroler Suspensi Aktif Model Setengah Badan Mobil Berdasarkan Standar Kenyamanan Iso 2631*.
- Xue, X. D., Cheng, K. W. E., Zhang, Z., Lin, J. K., Wang, D. H., Bao, Y. J., Wong, M. K., & Cheung, N. (2011). Study of art of automotive active suspensions. *2011 4th International Conference on Power Electronics Systems and Applications*, PESA 2011. <https://doi.org/10.1109/PESA.2011.5982958>
- Yu, M., Arana, C., Evangelou, S. A., & Dini, D. (2017). Quarter-Car Experimental Study for Series Active Variable Geometry Suspension. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 27(2), 743–759. <https://doi.org/10.1109/TCST.2017.2772912>
- Yu, M., Cheng, C., Evangelou, S. A., & Dini, D. (2019). Robust Control for a Full-Car Prototype of Series Active Variable Geometry Suspension. *Proceedings of the IEEE Conference on Decision and Control*, 2019-Decem(Cdc), 7615–7622. <https://doi.org/10.1109/CDC40024.2019.9029344>
- Yu, M., Cheng, C., Evangelou, S., & Dini, D. (2022). Series Active Variable Geometry Suspension: Full-Car Prototyping and Road Testing. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 27(3), 1332–1344. <https://doi.org/10.1109/TMECH.2021.3097153>