

Studi Eksperimental Karakteristik Getaran Pada Sistem Suspensi Kendaraan Perkotaan

Wiwiek Hendrowati⁽¹⁾, Zhefriel Pardikajayanto⁽²⁾,
Harus Laksana Guntur⁽³⁾, J. Lubi⁽³⁾, I Nyoman Sutantra⁽³⁾

¹Mahasiswa Program Doktor Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITS
E-mail: wiwiek@me.its.ac.id

²Alumni Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITS

³Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, ITS

Jl. Arif Rahman Hakim, Kampus ITS Keputih, Sukolilo-Surabaya (60111)

Phone: +62-31-5946230, FAX: +62-31-5922941

Abstrak

Sistem suspensi merupakan salah satu komponen yang dapat memberikan kenyamanan saat mengendarai kendaraan. Sistem suspensi yang digunakan berfungsi untuk meredam getaran pada kendaraan. Getaran yang terjadi pada sistem suspensi merupakan fungsi dari frekuensi dan amplitudo yang mana selalu berubah tergantung eksitasi yang diberikan pada roda, yaitu kecepatan kendaraan dan kontur jalan yang dilalui kendaraan. Studi eksperimental pada artikel ini dilakukan untuk mengetahui nilai *transmissibility* salah satu jenis sistem suspensi yang digunakan pada sebuah mobil perkotaan. Pengujian dilakukan dengan memberikan eksitasi variasi kecepatan (100 mm/s, 110 mm/s dan 125 mm/s) dan variasi amplitudo (7,5 mm; 10 mm dan 12,5 mm) yang berasal dari *hydraulic actuator* pada alat uji *quarter car suspension test rig*. Kajian yang dilakukan berkaitan dengan respon getaran massa *unsprung-sprung* dan nilai *transmissibility* sistem suspensi pada setiap variasi. Respon getaran *unsprung-sprung mass* tergantung kecepatan eksitasi yang diberikan. Sedangkan nilai *transmissibility* akan meningkat dengan bertambahnya kecepatan dan mencapai titik puncaknya pada kecepatan yang sama dengan frekuensi natural sistem. Selanjutnya nilai *transmissibility* tersebut akan menurun setelah kecepatan melebihi frekuensi naturalnya. Hasil pengujian menunjukkan tren nilai *transmissibility* yang sesuai dengan perumusan matematis. Namun, alat uji ini tidak dapat digunakan pada amplitudo besar sebab error yang dihasilkan semakin besar.

Keywords: Suspensi, *transmissibility*, respon getaran, kecepatan, amplitudo

1. Pendahuluan

Salah satu komponen yang memberikan kenyamanan saat berkendara adalah sistem suspensi. Sistem suspensi yang dipasang antara roda dan bodi kendaraan bertujuan untuk memberikan kenyamanan bagi pengemudi dan penumpang – nya. Pada saat kendaraan sedang melaju, pengemudi dan penumpang akan merasakan adanya getaran yang diakibatkan karena roda bersentuhan dengan permukaan jalan [1]. Namun dengan adanya suspensi, getaran yang terjadi akan diserap oleh sistem suspensi dan getaran yang ditransfer ke pengemudi dan penumpang akan berkurang.

Sistem suspensi yang konvensional terdiri dari komponen pegas dan peredam. Namun, sejalan dengan kemajuan teknologi, sistem suspensi juga mengalami perkembangan. Kalau sebelumnya digunakan sistem suspensi pasif (yang terdiri dari

komponen pasif, yaitu pegas dan peredam), saat ini dikembangkan sistem suspensi semi-aktif [2], [3]. Sistem suspensi semi-aktif umumnya terdiri dari sensor getaran, pengontrol komponen aktif, dan peredam aktif. Dimana, pengontrol komponen aktif bertugas mengatur peredam aktif untuk menyesuaikan sifat redamannya.

Di satu sisi getaran yang signifikan terjadi pada sistem suspensi. Sementara di sisi yang lain, untuk menjalankan fungsinya sistem suspensi semi-aktif memerlukan energi listrik. Berdasar pada kenyataan tersebut muncul ide untuk memanen energi dari getaran yang terjadi di suspensi, yang diubah menjadi energi listrik yang diperlukan oleh sistem suspensi semi-aktif. Sejumlah penelitian dan/atau publikasi telah membahas *energy harvesting* dari sumber energi getaran pada suspensi kendaraan menjadi energi listrik, antara lain adalah penggunaan metode

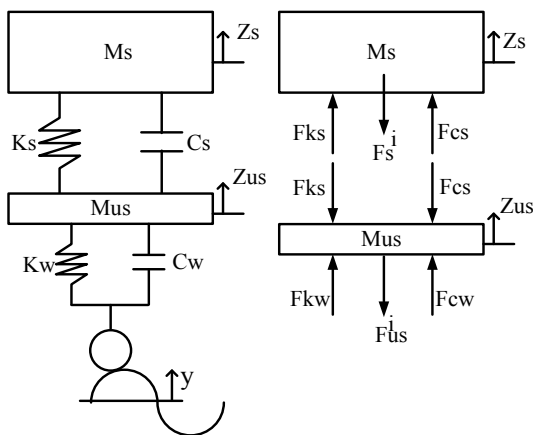
electromagnetic pada suspensi mobil, yang diteliti oleh Gupta et. al [3] dan Zuo et. al [5]. Selanjutnya secara komersial, metode *hydraulic* pada suspensi mobil telah diproduksi oleh Levant Power Corporation [6] (diberi nama *Genshock*), dengan memodifikasi desain *shock absorber* yang umum. Sedangkan metode *piezoelectric* telah dirancang oleh Pickelmann [7], dengan menggunakan *piezoelectric* yang ditempatkan pada bagian ujung dari silinder *shock absorber* dan dinamai *regenerative shock absorber*. Arizti [8], secara analitis dan simulatif, meneliti *regenerative shock absorber* tersebut dengan berbagai tipe *piezoelectric stack*. Wiwiek, dkk [9, 10] telah memodelkan mekanisme *ML PZT VEH* dan pengaruh pemasangannya pada respon kendaraan.

Pemilihan sistem suspensi untuk suatu kendaraan akan dikaitkan dengan beberapa pertimbangan antara lain berat kendaraan dan kondisi jalan yang akan dilalui. Dengan pemakaian sistem suspensi yang tepat, respon getaran yang diterima oleh pengemudi dan penumpang dapat diminimalkan. Dimana, respon getaran yang terjadi pada pengemudi akan menentukan tingkat kenyamanan kendaraan.

Berdasarkan latar belakang sebagaimana dipaparkan diatas, pada penelitian ini dilakukan studi eksperimen pada salah satu jenis sistem suspensi kendaraan perkotaan. Kajian yang dilakukan berkaitan dengan karakteristik respon getaran pada sistem suspensi dengan variasi amplitudo dan frekuensi. Sistem suspensi yang digunakan dalam pengujian adalah suspensi semi trailing dimana antara pegas dan *shock absorber* terpisah.

2. Metodologi

2.1. Sistem Dinamis Kendaraan Quarter Car



Gambar 1. Sistem Dinamis Kendaraan *Quarter Car*

Dimana

- M_{us} : Massa *unsprung* (kg)
- M_s : Massa *sprung* (kg)
- K_s : Konstanta pegas suspensi (N/m)

- K_w : Konstanta pegas ban (N/m)
- C_s : Koefisien redaman suspensi (Ns/m)
- C_w : Koefisien redaman ban (Ns/m)

Gambar 1. berikut mengilustrasikan sebuah sistem kendaraan *quarter car* yang terdiri atas 2 derajat kebebasan : yang pertama Z_s adalah perpindahan translasi massa *sprung* dan yang kedua Z_{us} adalah perpindahan translasi massa *unsprung*. Perpindahan eksitasi yang menggambarkan kondisi permukaan jalan yang dilalui kendaraan dinyatakan sebagai y .

Model matematis dari sistem dinamis kendaraan *quarter car* adalah sebagai berikut :

Massa *Unsprung*

$$\Sigma F = M_{us} \cdot \ddot{z}_{us}$$

$$M_{us} \ddot{z}_{us} + F_{cs} + F_{ks} = F_{cw} + F_{kw}$$

$$M_{us} \ddot{z}_{us} + (C_s + C_w) \dot{z}_{us} + (K_s + K_w) z_{us} = C_w \dot{y} + K_w y \quad (1)$$

$$+ C_s \dot{z}_s + K_s z_s$$

Massa *Sprung*

$$\Sigma F = M_s \cdot \ddot{z}_s$$

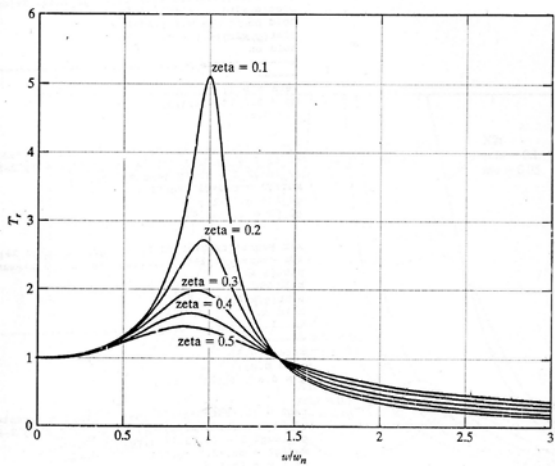
$$M_s \ddot{z}_s = F_{cs} + F_{ks}$$

$$M_s \ddot{z}_s + C_s \dot{z}_s + K_s z_s = C_s \dot{z}_{us} + K_s z_{us} \quad (2)$$

Nilai transmisibilitas diartikan sebagai rasio amplitudo massa kendaraan/ *sprung* (Z_s) dengan amplitudo gerak landasan atau eksitasi jalan (Z_{us}). Dimana sistem suspensi yang dipasang antara massa *unsprung* dan *sprung* diharapkan mampu menyerap energi getaran, sehingga getaran yang dialami massa *unsprung* tidak seluruhnya diteruskan ke massa *sprung*. Persamaan nilai transmisibilitas dapat dituliskan sebagai berikut.

$$TR = \left| \frac{F_t}{F_o} \right| = \left| \frac{Z_s}{Z_{us}} \right| = \sqrt{\frac{1 + \left(2\zeta \frac{\omega}{\omega_n} \right)^2}{\left[1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 \right]^2 + \left[2\zeta \frac{\omega}{\omega_n} \right]^2}} \quad (3)$$

Dengan menyatakan bahwa ω_n adalah frekuensi natural sistem dan ω adalah frekuensi eksitasi yang diberikan, maka rasio frekuensinya ialah ω/ω_n . Rasio perbesaran respon getaran (Z_s/Z_{us}) diatas dapat diplotkan dalam grafik sebagai berikut. Perbesaran antara massa *sprung* dan *unsprung* dapat dinyatakan dalam perpindahan ataupun percepatan.



Gambar 2. Grafik transmisibilitas

Dari **Gambar 2.** Dapat dijelaskan bahwa, dengan bertambahnya frekuensi eksitasi, maka rasio perbesaran antara massa *sprung* dan *unsprung* (Z_s/Z_{us}) akan meningkat. Hal ini terjadi jika rasio frekuensinya $\omega/\omega_n < 1$. Dan jika rasio frekuensinya $\omega/\omega_n > 1$, maka rasio perbesarannya Z_s/Z_{us} akan menurun. Pada rasio frekuensi $\omega/\omega_n = 0$ dan $\omega/\omega_n = 1,414$ rasio perbesarannya adalah $Z_s/Z_{us} = 1$.

2.2. Alat-alat yang digunakan

Ada beberapa alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu

- **Quarter Car Suspension Test Rig**

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui karakteristik sistem suspensinya. Sistem suspensi yang terdiri dari pegas dan *shock absorber* diuji dengan menggunakan alat *quarter car suspension test rig* (**Gambar 3.**). Alat ini digerakkan dengan *hydraulic power*. *Actuator* yang menggambarkan gerak osilasi jalan yang diberikan pada sistem suspensi diatur sesuai dengan parameter uji.



Gambar 3. *Quarter car suspension test rig*



Gambar 4. Massa uji balok beton



Gambar 5. Sistem suspensi : pegas dan *shock absorber*



Gambar 6. *Accelerometer* dan *oscilloscope*

- **Massa Pemberat**

Massa uji digunakan untuk merepresentasi massa *sprung*, yang menggunakan balok beton (**Gambar 4.**) dan berat *top fixture*. Balok beton dapat disusun sesuai massa yang diinginkan saat pengujian. Massa uji yang digunakan saat pengujian adalah 2 buah balok beton dengan massa total 54,4kg dan berat *top fixture* adalah 28,6kg. Sehingga berat total massa *sprung* adalah 83kg.

- **Sistem Suspensi**

Pada **Gambar 5.** Menunjukkan sistem suspensi yang digunakan dalam pengujian adalah type suspensi *semi trailing*. Dari pengujian yang dilakukan konstanta kekakuan pegas mempunyai nilai sebesar 19356,96N/m. Sedangkan nilai konstanta redaman *shock absorber* adalah 1080Ns/m.

- **Perekam Data**

Pada pengujian ini alat perekam data yang digunakan adalah *accelerometer* dan *oscilloscope* (**Gambar 6.**). *Accelerometer* berfungsi untuk mengukur amplitudo percepatan respon massa

unsprung dan *sprung*. Pada alat uji, *accelerometer* dipasang pada *bottom fixture* (massa *unsprung*) dan *top fixture* (massa *sprung*) yang kemudian dihubungkan dengan *oscilloscope* agar *output* yang dihasilkan dapat ditampilkan dan terbaca.

2. Pengujian

• **Setting Peralatan**

Pengujian sistem suspensi dilakukan untuk mengetahui karakteristik sistem suspensi dalam mentransfer getaran eksitasi yang diterima oleh roda, kemudian disalurkan ke penumpang. Pada penelitian ini uji karakteristik dilakukan pada alat uji *quarter car suspension test rig*. Pada alat uji tersebut, sistem suspensi yang terdiri dari pegas dan *shock absorber* dipasang dan disusun paralel, sesuai konstruksi riil pada kendaraan (**Gambar 7**). Masing-masing ujungnya dikaitkan /diikat pada *top fixture* dan *bottom fixture*. Dimana masing-masing *fixture* mewakili gerakan massa *sprung* (*top fixture*) dan massa *unsprung* (*bottom fixture*). Gerakan eksitasi yang berasal dari *hydraulic actuator* dihubungkan pada *bottom fixture*. Gerakan ini menggambarkan gerakan periodik dari roda yang diberikan dalam beberapa detik. Dengan adanya sistem suspensi antara *top fixture* dan *bottom fixture*, maka gerakan di *bottom fixture* dapat diteruskan ke *top fixture*. Gerakan osilasi dari kedua *fixture* dapat terekam dan terekam melalui *oscilloscope*. Dengan melakukan analisa pada hasil uji tersebut, maka karakteristik sistem suspensi dapat diketahui.

• **Parameter Uji**

Pengujian suspensi dilakukan dengan memberikan eksitasi secara langsung pada pegas dan *shock absorber*. Pengujian dilakukan dengan memberikan 3 variasi eksitasi amplitudo ($A_1 = 7,5$ mm, $A_2 = 10$ mm, $A_3 = 12,5$ mm) dan 3 variasi eksitasi kecepatan (Kecepatan 1 = 100 mm/s, Kecepatan 2 = 110 mm/s, Kecepatan 3 = 125 mm/s). Eksitasi *actuator* pada *quarter car suspension test rig* mempunyai bentuk eksitasi periodik.

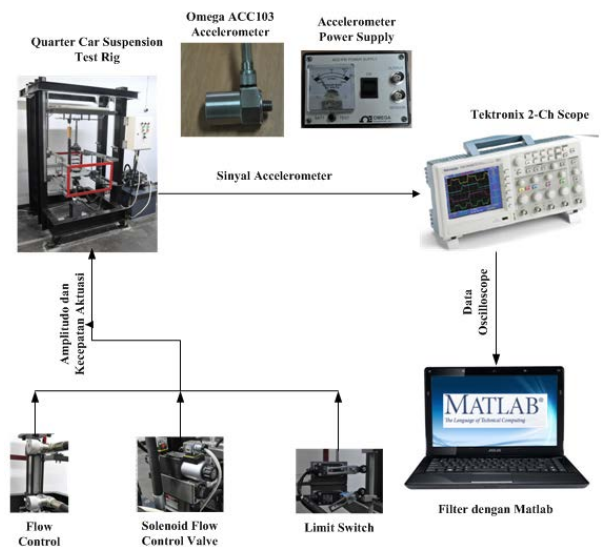
• **Pengambilan Data**

Pengambilan data dari masing-masing variasi dilakukan sebanyak 3 kali. Langkah setiap pengujian ditunjukkan dalam **Gambar 8**. Data yang terekam dan terbaca pada *oscilloscope* berbentuk data spektrum sebanyak 2500 titik dalam satuan volt. Dengan melakukan kalibrasi dan konversi dari volt ke percepatan (mm/s^2), maka data dianalisa dalam satuan percepatan. Data yang terekam dalam *oscilloscope* diolah dan dianalisa menggunakan software matlab dan perhitungan numerik yang dilakukan menghasilkan nilai rms dari masing-masing pengujian. Data respon getaran hasil

perhitungan numerik ditampilkan dalam **Tabel 1** dan **2**.



Gambar 7. Susunan sistem suspensi yang diuji



Gambar 8. Langkah pengambilan data

Tabel 1. Respon getaran percepatan (dalam rms) pada massa *unsprung* (mm/sec^2)

Amplitudo stroke (mm)	Variasi Kecepatan		
	1	2	3
7,5	0,9633	1,1771	1,2926
10	0,6894	0,6981	0,7357
12,5	0,9875	1,1493	1,2135

Tabel 2. Respon getaran percepatan (dalam rms) pada massa *sprung* (mm/sec^2)

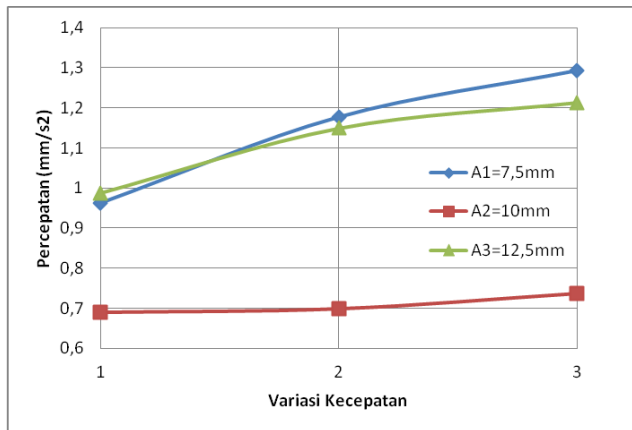
Amplitudo stroke (mm)	Variasi Kecepatan		
	1	2	3
7,5	0,8167	1,1859	1,6132
10	0,5995	0,6515	0,8452
12,5	1,2911	1,1822	1,1452

4. Hasil dan Pembahasan

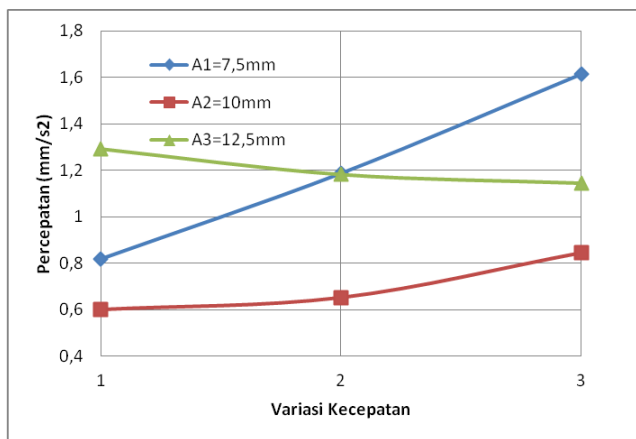
Hasil pengujian akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang menunjukkan adanya pengaruh amplitudo dan frekuensi terhadap respon getaran pada massa *unsprung* dan *sprung*. Selain itu ditampilkan pula dalam grafik *time domain* dan *frekuensi domain*, yang membahas tentang nilai transmisibilitas dari sistem suspensi yang digunakan.

Gambar 9. dan **10.** menunjukkan adanya pengaruh kecepatan terhadap respon getaran percepatan dari massa *unsprung* dan *sprung* pada amplitudo yang berbeda. Pada amplitudo 7,5mm dan 10mm, dengan bertambahnya kecepatan, respon kedua massa akan semakin meningkat. Sedangkan pada amplitudo 12,5mm, respon getaran percepatan massa *sprung* akan menurun.

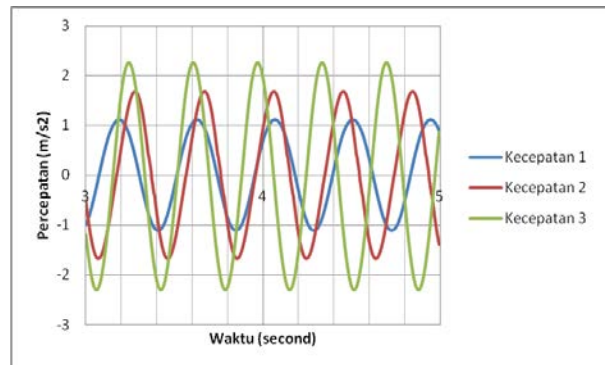
Secara umum pada grafik respon getaran percepatan untuk semua variasi amplitudo mempunyai bentuk yang sama. Salah satu respon getaran percepatan ditampilkan dalam *time domain* pada **Gambar 11.** dan **12.** untuk amplitudo 7,5mm dengan kecepatan yang bervariasi. Amplitudo respon tertinggi massa *unsprung* dan *sprung* terjadi pada kecepatan ke-3 dan yang terendah pada kecepatan ke-1.



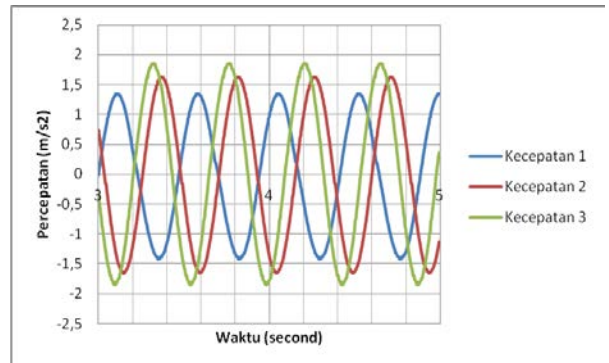
Gambar 9. Respon getaran percepatan pada massa *unsprung* dengan variasi amplitudo dan kecepatan



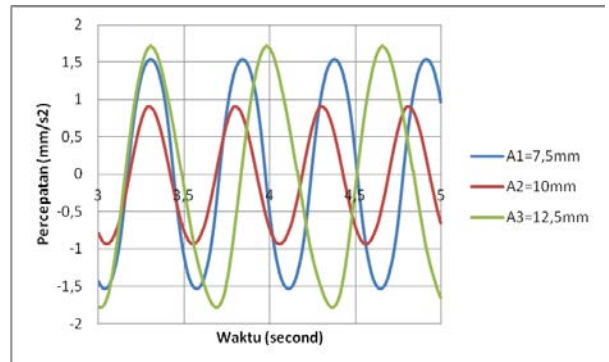
Gambar 10. Respon getaran percepatan pada massa *sprung* dengan variasi amplitudo dan kecepatan



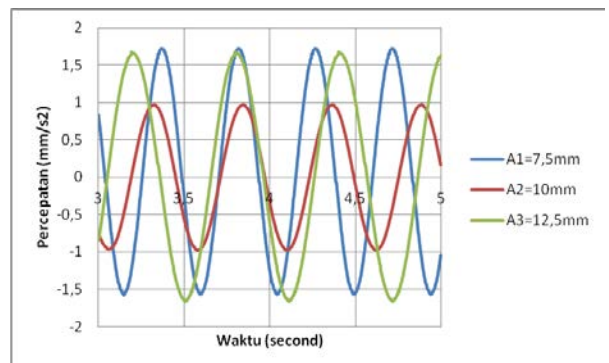
Gambar 11. Respon getaran percepatan pada massa *unsprung* pada amplitudo 7,5mm dengan variasi kecepatan



Gambar 12. Respon getaran percepatan pada massa *sprung* pada amplitudo 7,5mm dengan variasi kecepatan



Gambar 12. Respon getaran percepatan pada massa *unsprung* pada kecepatan ke-2=110mm/s dengan variasi amplitudo



Gambar 13. Respon getaran percepatan pada massa *sprung* pada kecepatan ke-2=110mm/s dengan variasi amplitudo

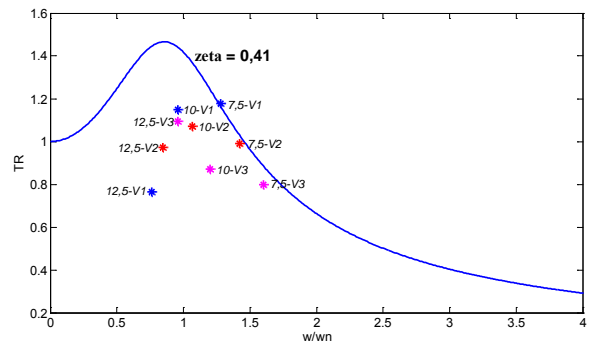
Respon getaran percepatan massa *unsprung* dan *sprung* untuk kecepatan yang sama (kecepatan ke-2) dan amplitudo yang bervariasi ditampilkan pada **Gambar 13**. dan **14**. Kedua grafik menunjukkan kesesuaian amplitudo percepatan pada **Gambar 9**. dan **10**.

Dengan menganalisa respon getaran percepatan massa *unsprung* dan *sprung*, maka akan diperoleh nilai transmisibilitas percepatan dari masing-masing variasi parameter uji. Data tentang nilai transmisibilitas ditunjukkan dalam **Tabel 3**.

Gambar 14. Merupakan ilustrasi dari kondisi nilai transmisibilitas sistem suspensi. Dengan menggambarkan titik-titik hasil pengujian pada grafik transmisibilitas, maka akan diketahui kemampuan sistem suspensi dalam meneruskan getaran yang diberikan. Pada amplitudo 7,5mm nilai transmisibilitas masing-masing kecepatan berimpit dengan grafik transmisibilitas. Hal ini dapat dijelaskan bahwa dengan bertambahnya kecepatan, maka getaran yang diteruskan oleh sistem suspensi akan semakin mengecil. Dengan kata lain, sistem suspensi pada kecepatan ini akan menyerap energi getaran semakin besar. Pada amplitudo 10mm, hasil pengujian mempunyai bentuk tren grafik yang sama dengan tren grafik amplitudo 7,5mm. Meskipun dalam grafik terlihat bahwa, titik-titik hasil pengujian tidak berimpit pada grafik transmisibilitas, namun dengan bertambahnya kecepatan, nilai transmisibilitasnya semakin menurun. Sedangkan pada amplitudo 12,5mm, titik-titik hasil pengujian berada jauh dibawah grafik transmisibilitas. Hal ini menunjukkan bahwa alat uji tidak mampu memberikan eksitasi pada sistem suspensi yang sesuai dengan setting-an. Sehingga hasil yang diperoleh tidak akurat. Namun, dari bentuk tren grafik titik-titik hasil pengujian dapat dijelaskan bahwa dengan meningkatnya kecepatan yang diberikan, maka getaran yang diteruskan oleh sistem suspensi semakin besar. Sehingga sistem suspensi pada kecepatan ini akan sedikit menyerap energi getaran.

Tabel 3. Nilai transmisibilitas percepatan sistem suspensi

Amplitudo stroke (mm)	Variasi Kecepatan		
	1	2	3
7,5	1,1794	0,9926	0,8012
10	1,1499	1,0715	0,8703
12,5	0,7649	0,9722	1,0596



Gambar 14. Nilai transmisibilitas percepatan sistem suspensi

5. Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa respon getaran percepatan massa *unsprung* dan *sprung* dipengaruhi kecepatan eksitasi yang diberikan. Rasio respon getaran percepatan massa *sprung* dan *unsprung* menentukan nilai transmisibilitas yang dipengaruhi kecepatan eksitasinya. Kemampuan *quarter car suspension test rig* dalam pengujian mempengaruhi keakuratan data.

Daftar Pustaka

- [1] W. Hendrowati, J. Lubi, dan Harus L.G., *Studi Karakteristik Getaran Pada sistem Suspensi Pegas Daun Dan Pegas Spiral Akibat Pengaruh Kondisi Permukaan Jalan Dan Kecepatan Yang Bervariasi*, SNTTM X, Malang, 2-3 November 2011. [1]
- [2] Fischer, D., and R. Isermann, *Mechatronic Semi-Active and Active Vehicle Suspensions*, Control Engineering Practice 12, pp. 1353-1367, 2004
- [3] Fateh, M. M., and S. S. Alavi, *Impedance Control of An Active Suspension Sistem*, Mechatronics 19, pp. 134-140, 2009, www.Elsevier.com/locate/mechatronics
- [4] A. Gupta, J. A. Jendrzejczyk, T. M. Mulcahy and J. R. Hull, *Design of electromagnetic shock absorber*, Int. J. Mech. Mater. Des., In press, 2007, doi: 10.1007/s10999-007-9031-5
- [5] L. Zuo, B. Scully, J. Shestani and Y. Zhou, *Design and characterization of an electromagnetic energy harvester for vehicle suspensions*, Smart Mater. Struct., IOP Publishing, Vol. 19, 2010, 045003(10pp), doi:10.1088/0964-1726/19/4/045003, May, 2009
- [6] *Levant Power: Revolutionary Genshock Technology*, Product Catalogue, Levant Power Corporation, www.levanpower.com
- [7] L. Pickelmann, *Low Voltage Co-fired Multilayer Stack, Rings and Chips for Actuation*, Piezomechanik, Munich, 2004, www.piezo-mechanik.com
- [8] M. Arizti, *Harvesting Energy from Vehicle Suspension*, Master of Science Thesis, Tampere University of Technology, Tampere, Finland, 2010

- [9] W. Hendrowati, Harus L.G. dan I. N. Sutantra, *Pemodelan Dan Analisa Energi Yang Dihasilkan Mekanisme Multilayer Piezoelectric Vibration Energy Harvesting Akibat Pengaruh Variasi Sudut Mekanisme*, SNTM 7 Petra, Surabaya, 21 Juni 2012
- [10] W. Hendrowati, Harus L.G. dan I. N. Sutantra, *Pemodelan Dan Analisa Respon Getaran Kendaraan Akibat Pemasangan Mekanisme Multilayer Piezoelectric Vibration Energy Harvesting*, SNTM 7 Petra, Surabaya, 21 Juni 2012