Pemodelan dan Analisis Pengaruh Jarak DVA, Kecepatan, dan Kedalaman Celah terhadap Simpangan Maksimum Respon Getaran pada Gerbong Kereta Api Arah Rotasi dan Translasi

Wahyu Mas Fiqih[1], Ardi Noerpamoengkas[2]
Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
e-mail: masfiqih86@gmail.com

ABSTRACT

A working system can experience excessive vibrations if the force generated by the system is close to its natural frequency. Excess vibration can cause damage, so it needs to be reduced. One way to reduce excess vibration is to add DVA. In the research, a simulation of non-DVA and DVA (Dynamic Vibration Absorber) systems was carried out. In this study, a vibration modeling system has been described in railroad cars with the addition of a single-Dynamic Vibration Absorber (SDVA) on the carriage, it is assumed that there is excitation in the form of an uneven rail surface and is given to one part of the rail as a source of vibration caused by poor rail connection, causing vibration of the carriage. This research was carried out by varying the depth of the gap, the speed of the carriages, and the distance of the DVA on the rail link. From the simulation results, it can be concluded that the variation in the gap depth, the deeper the gap in the rail connection, the greater the displacement response with a maximum deviation value of 0.003996 rad / s, for variations in speed if the faster the train speed, the displacement response will be smaller with a maximum deviation value of 0.005992 rad / s. , in the variation of the DVA distance, the farther the DVA distance, the greater the displacement response with a maximum deviation value of 0.004016 rad / s and a value without using DVA of 0.004776 rad / s. Translational response trend will be same with rotational response trend in the same observation point-mass center distance.

Kata kunci: *Railway, rotational vibration, Single-Dynamic Vibration Absorber, translational vibration.*

ABSTRAK

Sistem dapat memiliki respon getaran berlebih jika frekuensi pengganggu sistem tersebut mendekati frekuensi naturalnya. Getaran berlebih ini dapat menimbulkan kerusakan, sehingga perlu dikurangi. Salah satu cara adalah dengan memberi DVA (*Dynamic Vibration Absorber*) pada sistem. Dalam penelitian ini dilakukan simulasi getaran sistem tanpa dan dengan DVA. Penelitian ini menggunakan model sistem getaran pada gerbong kereta api dengan penambahan SDVA (*Single Dynamic Vibration Absorber*), diasumsikan bahwa terdapat eksitasi berupa permukaan rel yang tidak rata akibat sambungan rel yang kurang baik dan diberikan pada salah satu sisi bagian rel. Pada penelitian ini dilakukan dengan memvariasikan kedalaman celah, kecepatan gerbong, dan jarak DVA pada sambungan rel. Dari hasil simulasi dapat disimpulkan pada variasi kedalaman celah jika semakin dalam celah sambungan rel maka respon displacement akan semakin besar dengan nilai simpangan maksimum sebesar 0.003996 rad/s, pada variasi kecepatan jika semakin cepat laju kereta maka respon displacement akan semakin kecil dengan nilai simpangan maksimum sebesar 0.005992 rad/s pada variasi jarak DVA semakin jauh jarak DVA maka respon displacement akan semakin besar dengan nilai simpangan maksimum sebesar 0.004016 rad/s dan nilai dengan tanpa menggunakan DVA sebesar 0.004776 rad/s. Tren respon arah translasi sama dengan tren respon arah rotasi, dengan kondisi jarak tinjauan-pusat massa yang sama.

Kata kunci: Getaran rotasi, getaran translasi, kereta api, *Single Dynamic Vibration Absorber*.

PENDAHULUAN

Setiap benda yang mempunyai massa dan elastisitas mempunyai potensi untuk bergetar. Terlebih jika getaran yang ditimbulkan secara berlebihan akan mengurangi kenyamanan penumpang dan jika dibiarkan secara berkala akan berpotensi merusak komponen - komponen gerbong itu sendiri, sehingga diperlukanlah cara untuk mengurangi getaran tersebut. DVA (*Dynamic Vibration Absorber*) merupakan suatu metode yang cukup populer dilakukan untuk

mereduksi getaran. Prinsip penerapan DVA adalah dengan penambahan sistem massa-pegas pada sebuah massa tinjauan utama yang sedang bergetar. Bisa dengan atau tanpa adanya peredam pada DVA tersebut. Penambahan DVA ini menyebabkan derajat kebebasan sistem juga bertambah.

Semakin banyaknya jumlah derajat kebebasan sistem maka sebagian dari energi getaran pada massa tinjauan utama akan tersalurkan kepada massa DVA. Massa tambahan ini kemudian bergetar dengan arah berlawanan dengan arah getaran massa utama untuk mengurangi getaran yang ada pada massa utama tersebut. Berdasarkan latar belakang yang sudah dijelaskan, maka selanjutnya akan dilakukan analisis dengan menggunakan bantuan *software* numerik pada model *Single*-DVA dengan variasi pengaruh jarak DVA, kecepatan, dan kedalaman celah.

Namun demikian, banyak pada penelitian – penelitian sebelumnya hanya meneliti kasus pada rel kereta api sebagai peredam getaran dari kereta api itu sendiri. Oleh karena itu pada penelitian ini dilakukan pemasangan DVA yang diletakkan pada gerbong kereta api sebagai peredam getarannya. Respon getaran diteliti dengan mengamati nilai simpangan maksimum dari variasi jarak DVA, kecepatan, dan kedalaman celah.

TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian yang dilakukan Yudhkarisma Fitri, memvariasikan dan mensimulasikan system DVA terhadap mesin rotasi. Hasil dari penelitian Yudhkarisma Fitri menerangkan bahwa dengan teknik simulasi ini dapat digunakan untuk menentukan nilai parameter DVA yang terbaik dan untuk nilai variasi data mesin rotasi yang berbeda maka parameter DVA yang dihasilkan akan berbeda-beda pula. Dalam percobaan ini juga disimpulkan bahwa DVA yang diaplikasikan mampu untuk meredam getaran mesin arah rotasi sebesar 16,6% pada *maximal overshoot* dan 65,5% untuk *minimum overshoot* [1]. Pada penelitian Susastro disimpulkan bahwa semakin besar massa *absorber* yang diberikan pada sistem utama maka jarak antara resonansi kedua dan ketiga pada gerak translasi akan semakin lebar dan semakin besar rasio lengan momen yang diberikan maka resonansi pertama akan berada pada frekuensi yang lebih rendah [2].

Sebuah *simulator* getaran mempresentasikan getaran yang terjadi pada kondisi riil mesin – mesin industri. Menggunakan motor DC untuk sumber getarnya lalu getaran yang dihasilkan akan direduksi oleh sebuah mekanisme DVA model *beam*. Didapatkan hasil bahwa nilai massa absorber yang semakin besar, nilai kekakuan pegas *absorber* yang semakin besar, dan jarak posisi DVA semakin jauh dapat mengurangi getaran arah translasi sebesar 99,1% dan sebesar 97,6% arah rotasi. Semakin jauh jarak DVA terhadap titik pusat massa utama maka respon akselerasi massa utama akan semakin kecil [3].

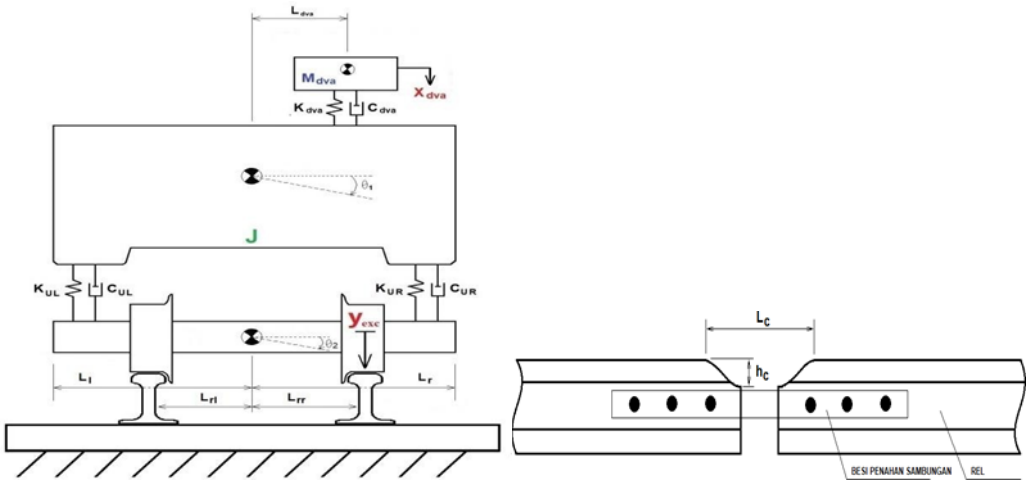
Penerapan DVA pada bagian atas dari terowongan bersusun ganda untuk meminimalkan aliran energi yang dipancarkan ke atas yang dihasilkan dari kereta api. Hasil dari penelitian ini terbukti efisien dalam mengurangi total aliran energi yang diradiasikan oleh terowongan. Kehilangan insersi yang diperoleh dari aliran energi radiasi total akibat penerapan DVA untuk keempat kasus menunjukkan bahwa semakin keras tanah dan semakin cepat kereta api, semakin efektif DVA yang dioptimalkan. dan didapatkan kesimpulan bahwa DVA akan menjadi solusi yang lebih hemat biaya untuk jaringan kereta api bawah tanah yang ada [4]. Menganalisis pengaruh rel terhadap penyerap getaran dinamis yang menempel pada rel tipe 60 standar yang banyak digunakan. Hasil dari penelitian ditunjukkan bahwa rel yang dipasang dengan DVA memiliki efek pereduksi getaran yang baik [5].

Penambahan peredam pada rel ganda guna untuk meredam getaran yang dipasang di antara rel. Hasil dari penelitian didapatkan massa aktif yang besar yang digunakan pada absorber bermanfaat untuk redaman getaran rel, serta posisi pemasangan yang paling efektif untuk penyerap diskrit adalah di tengah bantalan dikarenakan amplitudo getarannya tinggi

dan resonansi yang disematkan dapat diredam [6]. pemasangan beberapa peredam getaran dinamis ke rel apung yang tidak kontinyu, dan parameter desain optimal dari peredam getaran multidinamik ditentukan dengan mencari nilai minimum dari dua fungsi penilaian. Hasil dari penelitian ini didapatkan model dinamis sistem lintasan yang dikembangkan dalam perangkat lunak ANSYS menyediakan cara yang nyaman dan efektif untuk menyelidiki kinerja dinamis LFVIT dalam berbagai bentuk yang dikenakan beban dinamis kereta dan LFVIT yang dipasangkan dengan DVA ganda, DVA kuadrat, atau DVA *sextuple* efektif mengurangi getaran frekuensi rendah [7].

METODE

Pertama dimulai dengan menurunkan persamaan matematis dari model konfigurasi. Kemudian menurunkan *state variable equation* yang akan digunakan pada simulasi dengan *software* numerik. Metode ini digunakan pada studi pemodelan lain [8][9][10]. Nilai parameter dimasukkan ke dalam *software*, kemudian disimulasi numerik dengan tipe *solver* ODE4. Hasil simulasi diperoleh grafik respon *displacement* sudut terhadap waktu.



a b

Gambar 1. Gambar model sistem getaran (a), dan eksitasi (b).

Pemodelan sistem getaran yang akan digunakan pada penelitian ini difungsikan untuk membantu pembuatan *free body diagram*, berikut bentuk dari sistem getaran yang digunakan. Pada gambar 1 dapat dilihat model sistem getaran pada gerbong kereta api (a), dan eksitasi berupa bentuk sambungan rel kereta api yang kondisinya kurang baik (b) yang diasumsikan sebagai sumber getaran yang menyebabkan gerbong kereta api bergetar yang dimana eksitasi hanya diposisikan pada salah satu bagian rel saja.

Berikut ini persamaan gerak dari inersia utama sistem.

$$\left[C_{UL}\frac{{L_l}^2}{L_{rr}}+C_{UR}\frac{{L_r}^2}{L_{rr}}\right]\cdot\dot{y}_{exc}+\left[K_{UL}\frac{{L_l}^2}{L_{rr}}+K_{UR}\frac{{L_r}^2}{L_{rr}}\right]\cdot y_{exc}$$
$$+C_{dva}\cdot L_{dva}\cdot\dot{x}_{dva}+K_{dva}\cdot L_{dva}\cdot x_{dva}$$
$$=J\cdot\ddot{\theta}_1+\left[C_{UL}\cdot {L_l}^2+C_{UR}\cdot {L_r}^2\right]\cdot\dot{\theta}_1+\left[K_{UL}\cdot {L_l}^2+K_{UR}\cdot {L_r}^2\right]\cdot\theta_1 \quad \text{.....(1)}$$

Berikut ini persamaan gerak dari massa DVA.

$$C_{dva} \cdot L_{dva} \cdot \dot{\theta}_1 + K_{dva} \cdot L_{dva} \cdot \theta_1 = M_{dva} \cdot \ddot{x}_{dva} + C_{dva} \cdot \dot{x}_{dva} + K_{dva} \cdot x_{dva} \quad \text{.....(2)}$$

Tabel 1. Variasi Kedalaman celah

No	Variasi	Jarak DVA L_{DVA} (m)	Kecepatan V (m/s)	Kedalaman Celah h_C (m)
1	1	0,6	1,2	0,01
2	2	0,6	1,2	0,03
3	3	0,6	1,2	0,05

Tabel 2. Variasi kecepatan

No	Variasi	Jarak DVA L_{DVA} (m)	Kecepatan V (m/s)	Kedalaman Celah h_C (m)
1	1	0,6	0,8	0,05
2	2	0,6	1	0,05
3	3	0,6	1,2	0,05

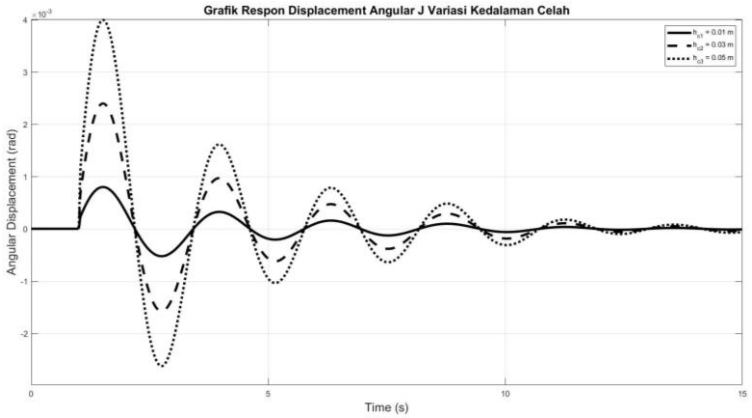
Tabel 3. Variasi jarak DVA

No	Variasi	Jarak DVA L_{DVA} (m)	Kecepatan V (m/s)	Kedalaman Celah h_C (m)
1	1	0,05	1,2	0,05
2	2	0,6	1,2	0,05
3	3	1,25	1,2	0,05

Tabel 4. Nilai parameter

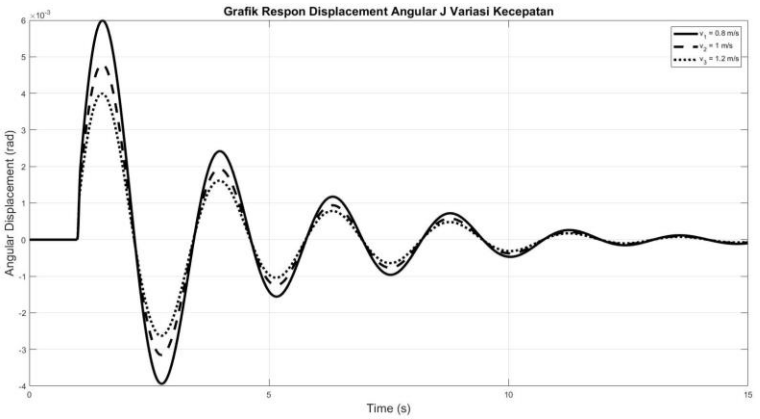
No	Notasi	Keterangan	Nilai	Satuan
1.	M_{dva}	Massa DVA	30	Kg
2.	K_{UL}	Pegas utama kiri	550	N/m
3.	K_{UR}	Pegas utama kanan	550	N/m
4.	K_{dva}	Pegas DVA	100	N/m
5.	C_{UL}	Redaman massa utama kiri	45	N.s/m
6.	C_{UR}	Redaman massa utama kanan	45	N.s/m
7.	C_{dva}	Redaman DVA	15	N.s/m
8.	J	Innersia massa utama	260	$Kg.m^2$
9.	L_C	Panjang celah sambungan rel	0.05	M
10.	Ll	Panjang lengan kiri	1.25	M
11.	Lrl	Panjang lengan rel kiri	0.75	M
12.	Lr	Panjang lengan kanan	1.25	M
13.	Lrr	Panjang lengan rel kanan	0.75	M

HASIL DAN PEMBAHASAN



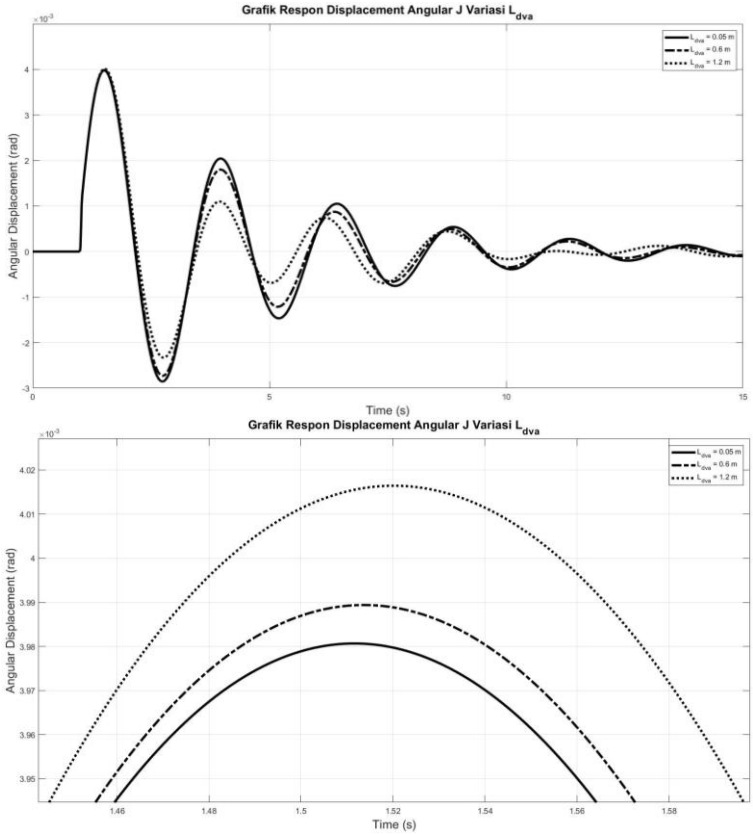
Gambar 2. Grafik respon *displacement* sudut J variasi kedalaman celah.

Pada gambar 2 dilakukan simulasi dan didapatkan nilai simpangan maksimum respon getaran gerbong kereta api pada variasi kedalaman celah variasi pertama 0.01 m sebesar 0.0007992 rad, variasi kedua 0.03 m sebesar 0.002398 rad, variasi ketiga 0.05 m sebesar 0.003996 rad. Sehingga dapat disimpulkan semakin dalam celah sambungan rel maka nilai simpangan maksimumnya semakin besar.



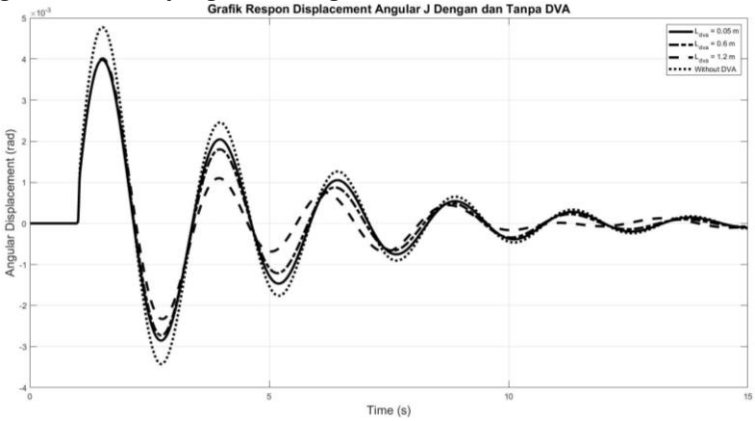
Gambar 3. Grafik respon *displacement* sudut J variasi kecepatan.

Pada gambar 3 dilakukan simulasi dan didapatkan nilai simpangan maksimum respon getaran gerbong kereta api pada variasi kecepatan variasi pertama 0.8 m/s sebesar 0.005992 rad, variasi kedua 1 m/s sebesar 0.004794 rad, variasi ketiga 1.2 m/s sebesar 0.003996 rad. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin cepat laju kereta maka nilai simpangan maksimum nya semakin kecil.



Gambar 4. Grafik respon *displacement* sudut J variasi jarak DVA.

Pada gambar 4 dilakukan simulasi dan didapatkan nilai simpangan maksimum respon getaran gerbong kereta api pada variasi Jarak DVA variasi pertama 0.05 m sebesar 0.003981 rad, variasi kedua 0.6 m sebesar 0.003989 rad, variasi ketiga 1.2 m sebesar 0.004016 rad. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin jauh jarak DVA maka nilai simpangan maksimum nya semakin besar. Pada variasi ini juga dilakukan simulasi dengan tanpa menggunakan DVA dan didapatkan nilai simpangan maksimum sebesar 0.004776 rad atau lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan DVA, yang mana dengan ini simulasi ini dinilai efektif meredam getaran.



Gambar 5. Grafik respon *displacement* sudut J dengan dan tanpa DVA.

Grafik gambar 5 memperlihatkan perbedaan respon *displacement* sudut J dengan dan tanpa DVA. Nilai respon maksimal dengan DVA sebesar 0.004016 rad. Sedangkan tanpa DVA sebesar 0.004776 rad. Hal ini menunjukkan respon inersia tinjauan dengan DVA lebih kecil daripada tanpa DVA. Dapat dikatakan model sistem valid dan sesuai dengan fenomena umum penerapan DVA seperti pada penelitian-penelitian sebelumnya [1][2][3][4][11][12]. Fenomena ini terjadi di frekuensi eksitasi sekitar frekuensi natural sistem tanpa DVA.

Pada model, titik massa gerbong tidak mengalami respon gerak vertikal. Oleh karena itu, respon *displacement* pada gerbong arah translasi dapat diperoleh dengan mengalikan hasil respon arah rotasi dengan jarak tinjauan terhadap pusat massa gerbong. Dengan demikian respon *displacement* arah translasi pada gerbong proporsional dan memiliki tren yang sama dengan tren respon arah rotasinya. Semakin jauh titik tinjauan dari titik pusat massa semakin besar respon arah translasi, dengan respon arah rotasi yang sama. Dengan mengambil nilai jarak sama dengan jarak terjauh dari variasi jarak L_{DVA} sebesar 1,25 m, nilai respon translasi maksimal pada variasi kedalaman celah 0.01 m sebesar 0.000999 m, 0.03 m sebesar 0.0029975 m, dan 0.05 m sebesar 0.004995 m. Nilai respon translasi maksimal pada variasi kecepatan 0.8 m/s sebesar 0.00749 m, 1 m/s sebesar 0.0059925 m, dan 1.2 m/s sebesar 0.004995 m. Nilai respon translasi maksimal dengan variasi jarak DVA 0.05 m sebesar 0.00497625 m, 0.6 m sebesar 0.00498625 m, dan 1.2 m sebesar 0.00502 m.

Dari hasil simulasi diatas dapat diketahui pengaruh dari kedalaman celah sambungan rel, kecepatan kereta api, dan jarak DVA terhadap simpangan maksimum respon getaran. Penyebab getaran dihasilkan yang disebabkan oleh eksitasi pada salah satu bagian rel yang kondisi celah sambungannya kurang baik, sehingga menimbulkan arah getaran rotasi dan translasi. Pada variasi kedalaman celah semakin dalam celah sambungan rel maka nilai frekuensi naturalnya semakin tinggi. Dikarenakan adanya perbedaan luas penampang eksitasi secara cepat yang dilewati oleh DVA. Pada variasi kecepatan semakin cepat laju kereta maka nilai simpangan maksimumnya semakin rendah. Dikarenakan frekuensi naturalnya semakin rendah. Pada variasi jarak DVA semakin jauh jarak DVA maka nilai simpangan maksimum nya semakin besar. Dikarenakan DVA menjauhi pusat massa gerbong sehingga menerima dari efek langsung dari eksitasi. Studi lebih lanjut perlu dilakukan untuk mengetahui karakteristik sistem getaran dengan DVA ini, hingga diperoleh pengaruh frekuensi eksitasi terhadap amplitude respon getaran pada gerbong.

KESIMPULAN

Pengaruh variasi kedalaman celah terhadap simpangan maksimum respon getar pada gerbong adalah, semakin dalam celah sambungan rel maka nilai simpangan maksimum nya semakin besar.dan didapatkan nilai simpangan maksimum terbesar 0.003996 rad. Pengaruh variasi kecepatan terhadap simpangan maksimum respon getar pada gerbong adalah semakin cepat laju kereta maka nilai simpangan maksimum nya semakin kecil. Dan didapatkan nilai simpangan maksimum terbesar 0.005992 rad. Pengaruh variasi jarak DVA terhadap simpangan maksimum respon getar pada gerbong adalah semakin jauh jarak DVA maka nilai simpangan maksimum nya semakin besar. Dan didapatkan nilai simpangan maksimum terbesar 0.004016 rad dibandingkan dengan tanpa menggunakan DVA sebesar 0.004776 rad. Dengan jarak tinjauan terhadap titik pusat massa gerbong yang sama, tren respon arah translasi sama dengan tren respon arah rotasi.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Y. Fitri, Y. Fitri, and Y. Susatio, “Simulasi Peredaman Getaran Mesin Rotasi

Menggunakan Dynamic Vibration Absorber (DVA)," *J. Tek. ITS*, vol. 2, no. 2, pp. D108–D112, 2013.

[2] Susastro, "Pengaruh Perubahan Posisi Masa SDVA Dari Titik Berat Masa Utama Terhadap Karakteristik Getaran Translasi Dan Rotasi Sistem Utama 2 DOF," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.

[3] R. B. Kurniawan, "Studi Eksperimen dan Analisa Reduksi Respon Getaran Translasi dan Rotasi dengan Menggunakan Dynamic Vibration Absorber (DVA) Model Beam," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.

[4] Vincent, "Pemodelan dan Analisa Reduksi Respon Getaran Translasi dan Rotasi Pada Sistem Utama Oleh Mekanisme Dynamic Vibration Absorber Model Beam dengan Pengaruh Posisi Peletakan Terhadap Pusat Massa Sistem Utama," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.

[5] L. Liu and W. Shao, "Design and Dynamic Response Analysis of Rail with Constrained Damped Dynamic Vibration Absorber," *Procedia Eng.*, vol. 15, pp. 4983–4987, 2011, doi: 10.1016/J.PROENG.2011.08.926.

[6] T. X. Wu, "On the railway track dynamics with rail vibration absorber for noise reduction," *J. Sound Vib.*, vol. 309, no. 3–5, pp. 739–755, 2008, doi: 10.1016/J.JSV.2007.07.049.

[7] S. Zhu, J. Yang, C. Cai, Z. Pan, and W. Zhai, "Application of dynamic vibration absorbers in designing a vibration isolation track at low-frequency domain:," in *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit*, May 2017, vol. 231, no. 5, pp. 546–557.

[8] A. Noerpamoengkas and M. Ulum, "Pemodelan Pengaruh Frekuensi dan Amplitudo Eksitasi terhadap Respon Gerak dan Daya Mekanis Pendulum Vertikal pada Konverter Energi Gelombang Laut," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III*, 2015, pp. 201–210.

[9] A. Noerpamoengkas and M. Ulum, "PEMODELAN GERAK PENDULUM VERTIKAL PADA KONVERTER ENERGI GELOMBANG BERINERSIA TAMBAHAN SAAT RESONANSI," *J. IPTEK*, vol. 21, no. 1, p. 61, May 2017.

[10] M. Ulum, A. Noerpamoengkas, G. Setyono, and M. R. Ariyansyah, "PEMODELAN DAN ANALISIS PENGARUH JUMLAH PENUMPANG DAN PERGESERAN PUSAT GRAVITASI TERHADAP RESPON DINAMIS TRANSIEN KENDARAAN," *Pros. Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap.*, vol. 0, no. 0, pp. 267–272, 2017.

[11] A. Rohman, "Pengaruh Perubahan Posisi Sumber Eksitasi Dan Massa Dva Dari Titik Berat Massa Beam Terhadap Karakteristik Getaran Translasi Dan Rotasi," 2016.

[12] A. Lostari, "Simulasi Peredam Getaran TDVA dan DDVA Tersusun Seri terhadap Respon Getaran Translasi Sistem Utama," *J. Mech. Eng. Mechatronics*, vol. 2, no. 01, pp. 2017–2026, Jan. 2018.