

Kaji Teoretik Penggunaan Peredam Getaran Dinamik Semi Aktif Pada Sistem Getaran Satu Derajat Kebebasan

Lovely Son dan Mulyadi Bur

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Andalas
Kampus Limau Manis, Padang 25163, Indonesia
E-mail: lovelyson@ft.unand.ac.id

Abstrak

Masalah getaran dapat dijumpai pada komponen mesin yang berukuran kecil seperti getaran pada MEMS (*Micro Electro Mechanical Systems*) dan juga pada sistem yang berukuran relatif besar seperti pesawat terbang dan struktur bangunan. Dalam kondisi normal, getaran tidak menimbulkan efek yang serius, akan tetapi jika energi getaran cukup besar maka efek getaran tersebut dapat menimbulkan kerusakan yang cukup parah.

Energi getaran yang cukup besar dapat ditimbulkan oleh amplitudo sinyal gangguan yang besar. Disamping itu, dalam kondisi tertentu jika frekuensi sinyal gangguan berada di dekat frekuensi pribadi sistem utama maka akan muncul fenomena resonansi. Pada sistem getaran dengan redaman yang relatif kecil seperti struktur pesawat atau satelit, fenomena resonansi ini dapat menyebabkan amplitudo getaran yang semakin lama semakin membesar meskipun sinyal gangguan relatif kecil.

Salah satu upaya yang dapat digunakan untuk mengurangi getaran yang berlebih pada sistem adalah penggunaan peredam dinamik pasif yang diatur pada frekuensi pribadi sistem utama. Akan tetapi, unjuk kerja peredam dinamik pasif ini jauh berkurang jika frekuensi gangguan tidak berada di dekat frekuensi pribadi sistem utama. Untuk meningkatkan unjuk kerja peredam dinamik pada kondisi tersebut maka frekuensi pribadi peredam harus diatur pada frekuensi gangguan. Peredam dinamik yang bekerja berdasarkan prinsip ini dinamakan peredam dinamik semi aktif.

Dalam penelitian ini unjuk kerja peredam dinamik semi aktif dievaluasi pada model sistem getaran satu derajat kebebasan. Peredam dinamik semi aktif ini dibangun dari sistem massa pegas dengan harga kekakuan yang dapat diubah secara online sehingga menghasilkan frekuensi peredam dinamik yang bisa disesuaikan dengan frekuensi gangguan. Dalam hal ini, frekuensi sinyal gangguan dideteksi dan dihitung berdasarkan data respon dari sistem utama. Suatu algoritma yang digunakan untuk mengubah frekuensi pribadi peredam dinamik selanjutnya dibangun berdasarkan hasil penghitungan frekuensi sinyal gangguan tersebut. Pada penelitian ini, frekuensi gangguan pada sistem diasumsikan berada di sekitar frekuensi pribadi struktur.

Hasil simulasi penggunaan peredam dinamik semi aktif pada model sistem getaran satu derajat kebebasan menunjukkan bahwa unjuk kerja peredam dinamik semi aktif lebih baik dibandingkan dengan peredam dinamik pasif yang bekerja di sekitar frekuensi pribadi sistem utama.

Keywords: getaran, satu derajat kebebasan, peredam dinamik, semi aktif, resonansi

Pendahuluan

Dewasa ini, masalah getaran dapat dijumpai pada hampir seluruh sistem yang terdapat di bidang teknik. Pada bidang teknik elektro, getaran pada skala yang cukup kecil dapat terjadi pada rangkaian *printed circuit board* (PCB). Getaran pada sistem dengan ukuran sedang dapat dijumpai pada mesin-mesin

kendaraan maupun industri. Dalam skala yang lebih besar, getaran bisa dijumpai pada struktur bangunan maupun jembatan (Koike, Y., Murata, T., 1994; Mostaghel, N., Davis, T., 1997).

Dalam kondisi normal, efek getaran tidak menyebabkan gangguan yang berarti pada sistem maupun lingkungannya. Akan tetapi, jika level getaran cukup besar maka efeknya dapat menimbulkan

kegagalan dan kerusakan pada sistem maupun struktur pendukungnya (Zhou, Q., Lu, X.,1998).

Pada prinsipnya, level getaran dapat dikurangi dengan cara penambahan peredam pada sistem. Dengan adanya peredam, sebagian energi getaran dikonversikan menjadi energi panas. Penambahan peredam pada sistem getaran dapat direalisasikan dengan menggunakan elemen peredam viskos(*viscous damper*) atau elemen peredam gesek(*coulomb damper*) (Almazan, J. L., De la llera, J. C.,1998).

Pada beberapa kasus tertentu, penambahan peredam pada sistem sangat sulit dilakukan. Hal ini disebabkan karena keterbatasan tempat pemasangan peredam maupun kondisi kerja yang tidak memungkinkan. Pada kondisi ini, penggunaan peredam dinamik merupakan salah satu upaya alternatif yang mungkin digunakan untuk mengurangi level getaran pada sistem.

Peredam dinamik merupakan suatu sistem getaran yang ditambahkan pada sistem getaran utama dengan tujuan mengurangi level getaran sistem utama pada frekuensi tertentu. Dalam hal ini, jika frekuensi peredam dinamik diatur di dekat frekuensi gangguan maka amplitudo getaran sistem utama akan berkurang cukup besar (Youssef, N., Nuttall, B., Rahman, A., Hata, O.,1994).

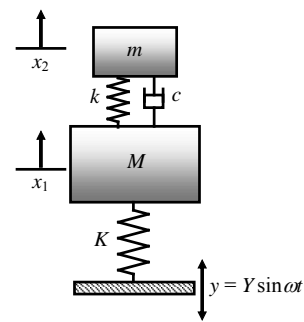
Secara umum, peredam dinamik bekerja cukup efektif jika sinyal gangguan pada sistem utama mempunyai frekuensi tetap. Akan tetapi, kondisi di lapangan menunjukkan bahwa frekuensi gangguan pada sistem getaran seringkali berubah. Pada kondisi ini, penggunaan peredam dinamik pasif dengan harga frekuensi peredam yang konstan tidak lagi efektif dan unjuk kerja peredam akan turun cukup signifikan pada saat frekuensi gangguan berada cukup jauh dari frekuensi awal yang telah diatur sebelumnya (Shing, P.B., Dixon, M.E., Kermiche, N., Su, R., Frangopol,M.,1996). Pada kondisi ini, dibutuhkan suatu peredam dinamik semi aktif dengan frekuensi yang dapat diatur sesuai dengan frekuensi gaya gangguan sehingga unjuk kerja peredam tidak berkurang meskipun frekuensi gangguan berubah.

Pada penelitian ini akan dilakukan kaji teoretik unjuk kerja dari peredam getaran dinamik semi aktif pada sistem getaran satu derajat kebebasan(1 DOF). Dalam hal ini sistem getaran 1 DOF dibangun oleh suatu sistem pegas dan massa sedangkan frekuensi gaya gangguan pada sistem divariasikan pada beberapa harga untuk melihat efektifitas peredam.

Pemodelan Sistem Getaran 1 DOF dengan Peredam Dinamik

Skema sistem getaran 1 DOF dengan peredam dinamik diperlihatkan pada Gambar 1. Variabel M dan K merupakan massa dan kekakuan sistem utama. Peredam dinamik semi aktif dimodelkan sebagai suatu sistem getaran massa pegas dengan massa m , kekakuan k dan redaman c . Frekuensi pribadi sistem utama serta frekuensi pribadi peredam dinamik diberikan oleh.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{K}{M}} ; \quad \omega_a = \sqrt{\frac{k}{m}} \tag{1}$$



Gambar 1 Sistem getaran 1 DOF dengan peredam getaran dinamik

Penerapan hukum keseimbangan Newton pada massa M dan m menghasilkan

$$M\ddot{x}_1 + Kx_1 + k(x_1 - x_2) + c(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = Ky \tag{2}$$

$$m\ddot{x}_2 + k(x_2 - x_1) + c(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0 \tag{3}$$

Keempat suku pada bagian kiri Pers.(2) melambangkan gaya inersia dari M , gaya pada pegas utama, gaya pegas peredam dan gaya dashpot. Simpangan x_1 dan x_2 merupakan getaran harmonik dengan frekuensi ω dan dapat digambarkan sebagai suatu vektor bilangan kompleks $x_1 = X_1 e^{j\omega t}$ dan $x_2 = X_2 e^{j\omega t}$. Dengan mensubstitusikan harga x_1 dan x_2 ini ke dalam Pers.(2) dan (3) dihasilkan

$$-M\omega^2 x_1 + Kx_1 + k(x_1 - x_2) + j\omega c(x_1 - x_2) = KY \tag{4}$$

$$-m\omega^2 x_2 + k(x_2 - x_1) + j\omega c(x_2 - x_1) = 0 \tag{5}$$

Dengan memisahkan komponen x_1 dan x_2 pada Pers.(4) dan (5) maka diperoleh

$$(-M\omega^2 + K + k + j\omega c)x_1 - (k + j\omega c)x_2 = KY \tag{6}$$

$$-(k + j\omega c)x_1 + (-m\omega^2 + k + j\omega c)x_2 = 0 \tag{7}$$

Pers.(6) dan (7) di atas dapat diselesaikan untuk mendapatkan harga x_1 dan x_2 . Untuk mendapatkan

simpangan massa utama x_1 , harga x_2 pada Pers.(7) di tentukan sebagai fungsi dari x_1 dan selanjutnya disubstitusikan ke Pers.(6) sehingga diperoleh

$$x_1 = KY \frac{(k - m\omega^2) + j\omega c}{\{(-M\omega^2 + K)(-m\omega^2 + k) - m\omega^2 k\} + j\omega c\{-M\omega^2 + K - m\omega^2\}} \quad (8)$$

Persamaan bilangan kompleks pada Pers.(8) dapat direduksi menjadi

$$x_1 = KY(A_1 + jB_1) \quad (9)$$

Akan tetapi, Pers.(8) masih dalam bentuk

$$x_1 = KY \frac{A + jB}{C + jD} \quad (10)$$

yang dapat diubah menjadi

$$x_1 = KY \cdot \frac{(A + jB)(C - jD)}{(C + jD)(C - jD)} = KY \cdot \frac{(AC + BD) + j(BC - AD)}{C^2 + D^2} \quad (11)$$

Sehingga panjang vektor x_1 dapat ditulis

$$\begin{aligned} \frac{x_1}{KY} &= \sqrt{\left(\frac{AC + BD}{C^2 + D^2}\right)^2 + \left(\frac{BC - AD}{C^2 + D^2}\right)^2} \\ &= \sqrt{\frac{A^2C^2 + B^2D^2 + B^2C^2 + A^2D^2}{(C^2 + D^2)^2}} = \sqrt{\frac{(A^2 + B^2)(C^2 + D^2)}{(C^2 + D^2)^2}} \\ &= \sqrt{\frac{A^2 + B^2}{C^2 + D^2}} \quad (12) \end{aligned}$$

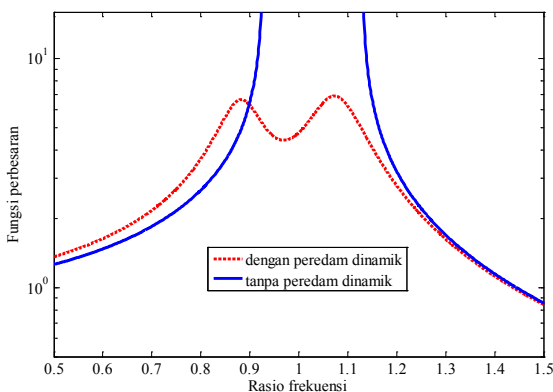
Dengan mensubstitusikan hasil pada Pers.(12) ke dalam Pers.(8) maka diperoleh

$$\frac{x_1}{KY} = \sqrt{\frac{(k - m\omega^2)^2 + \omega^2 c^2}{[(-M\omega^2 + K)(-m\omega^2 + k) - m\omega^2 k]^2 + \omega^2 c^2 [-M\omega^2 + K - m\omega^2]^2}} \quad (13)$$

Untuk kasus tanpa peredam dinamik, harga fungsi perbesaran pada Pers.(13) dapat dituliskan menjadi

$$\frac{x_1}{KY} = \frac{1}{\sqrt{(-M\omega^2 + K + k)^2 - (\omega c)^2}} \quad (14)$$

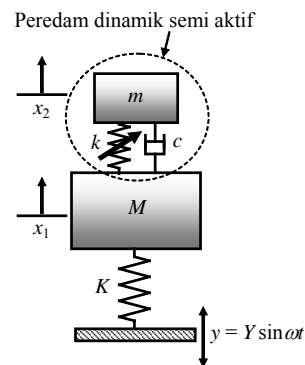
Pada Gambar 2 diperlihatkan contoh respon sistem utama dengan dan tanpa peredam dinamik. Dari Gambar 2 ini dapat dilihat bahwa peredam dinamik cukup efektif mengurangi getaran struktural pada saat frekuensi gangguan berada di dekat frekuensi pribadi sistem utama (rasio frekuensi $\omega/\omega_n = 1$).



Gambar 2 Respon sistem utama dengan dan tanpa peredam dinamik

Bila diperhatikan lebih teliti grafik pada Gambar 2 terlihat bahwa unjuk kerja peredam dinamik pasif akan berkurang jika rasio frekuensi berharga kurang atau lebih dari satu. Hasil ini menunjukkan bahwa peredam dinamik pasif tidak efektif digunakan pada sistem dengan kondisi frekuensi gangguan yang berubah.

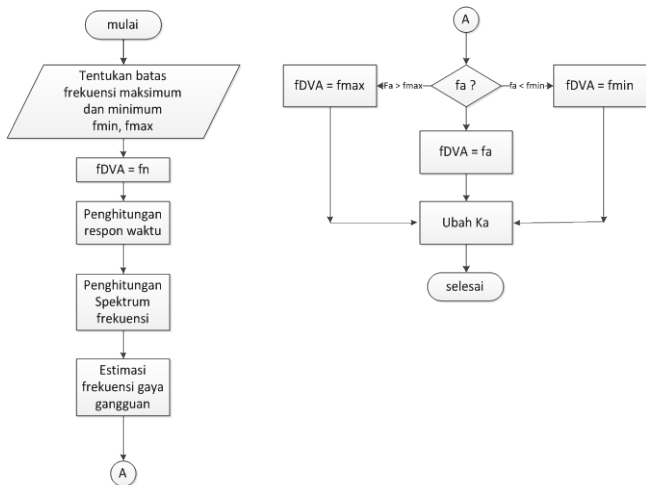
Pada sistem getaran yang menggunakan peredam getaran dinamik semi aktif, harga kekakuan dari peredam dinamik dapat divariasikan seperti diperlihatkan pada Gambar 3. Dengan harga kekakuan yang bisa bervariasi tersebut maka frekuensi peredam dapat diubah sesuai dengan perubahan frekuensi gangguan. Dengan demikian, unjuk kerja dari peredam tidak berkurang walaupun frekuensi gangguan berubah.



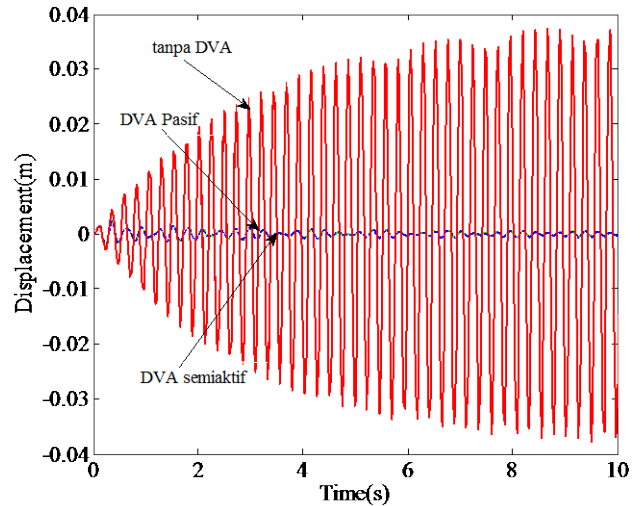
Gambar 3 Sistem getaran 1 DOF dengan peredam getaran dinamik semi aktif

Algoritma Peredam Dinamik Semi Aktif

Untuk mendapatkan hasil peredaman getaran yang baik, harga frekuensi peredam dinamik harus diatur sesuai dengan frekuensi gangguan. Pada Gambar 4 diperlihatkan algoritma perubahan frekuensi pribadi peredam dinamik melalui perubahan kekakuan peredam. Pada Gambar 4 ini terlihat bahwa mula-mula frekuensi peredam dinamik diatur berharga sama dengan frekuensi pribadi dari sistem utama ($f_{DVA} = f_n$). Pada kondisi ini, peredam dinamik mempunyai perilaku yang sama dengan kondisi pasif. Selanjutnya frekuensi sinyal gangguan diestimasi dari spektrum frekuensi respon struktur. Jika terjadi perubahan pada frekuensi gaya gangguan maka frekuensi peredam dinamik diubah berdasarkan harga frekuensi gangguan tersebut.



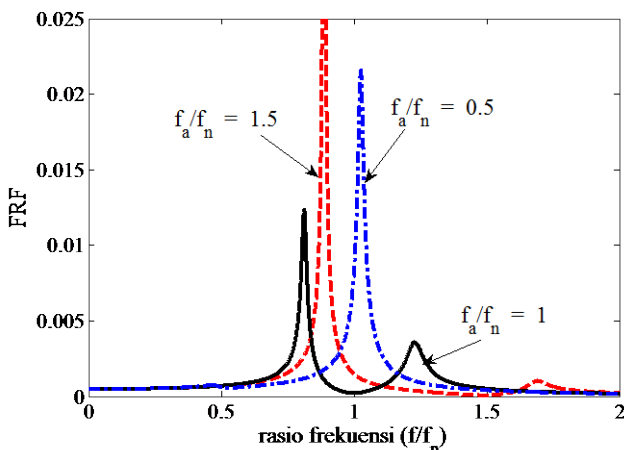
Gambar 4 Algoritma peredam dinamik semi aktif



Gambar 6 Respon struktur jika $f = f_n$

Hasil dan Pembahasan

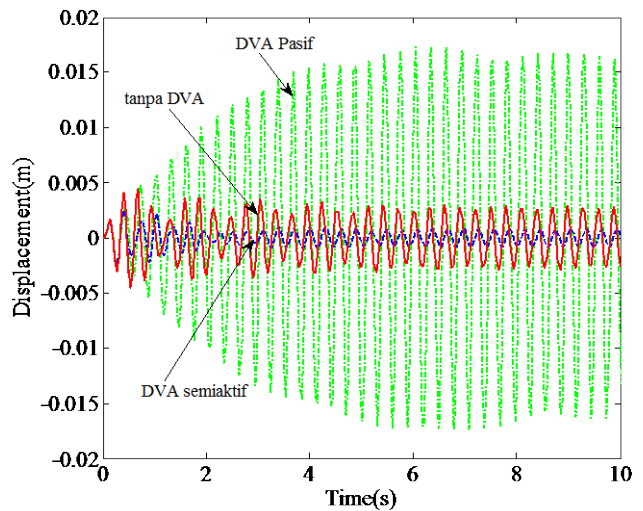
Pada Gambar 5 diperlihatkan fungsi respon frekuensi dari struktur untuk tiga kondisi peredam dinamik. Dari Gambar 5 ini terlihat bahwa peredam dinamik yang diatur pada frekuensi pribadi struktur ($f_a/f_n = 1$) mempunyai unjuk kerja yang sangat baik jika frekuensi gangguan sama dengan frekuensi pribadi struktur. Akan tetapi, jika frekuensi gangguan berubah lebih besar atau lebih kecil dari frekuensi pribadi struktur maka unjuk kerja peredam dinamik akan berkurang. Untuk itu peredam dinamik harus diatur sehingga berharga sama dengan frekuensi gangguannya agar didapatkan unjuk kerja yang tidak berubah secara drastis jika frekuensi gangguan berubah.



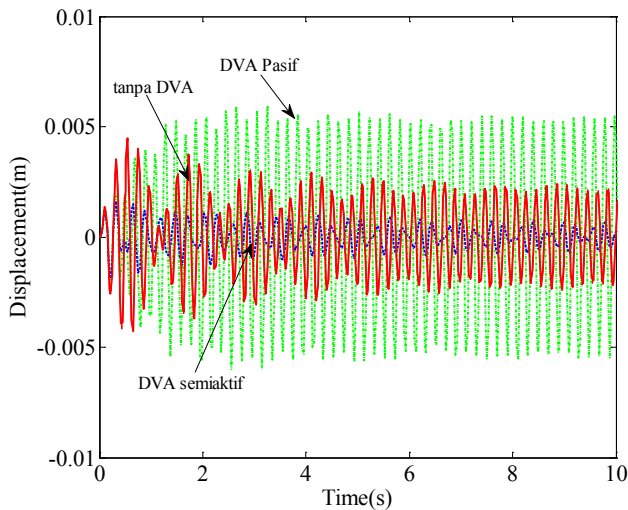
Gambar 5 Fungsi respon frekuensi struktur untuk tiga kondisi peredam dinamik

Pada Gambar 6 diperlihatkan respon struktur pada saat frekuensi gangguan sama dengan frekuensi pribadi struktur untuk tiga kasus, (1) tanpa peredam dinamik (2) dengan peredam dinamik pasif dan (3) dengan peredam dinamik semi aktif. Pada Gambar 6 ini terlihat bahwa unjuk kerja peredam dinamik pasif dan semi aktif sangat baik.

Jika frekuensi gangguan lebih kecil dari frekuensi pribadi struktur ($f = 0.8f_n$), unjuk kerja peredam dinamik pasif akan berkurang. Penggunaan peredam dinamik semi aktif akan menaikkan unjuk kerja peredam seperti terlihat pada Gambar 7. Kasus yang sama juga terjadi jika frekuensi gangguan lebih besar dari frekuensi pribadi struktur seperti diperlihatkan pada Gambar 8.



Gambar 7 Respon struktur pada $f = 0.8f_n$



Gambar 8 Respon struktur pada $f = 1.2f_n$

Kesimpulan

Evaluasi numerik peredam dinamik semi aktif untuk beberapa frekuensi gangguan yang berbeda telah dilakukan. Dari hasil simulasi terlihat bahwa peredam dinamik semi aktif mempunyai unjuk kerja yang lebih baik dari peredam dinamik pasif jika frekuensi gangguan berada di bawah atau di atas frekuensi pribadi struktur.

Ucapan Terima kasih

Penelitian ini didanai dari penelitian Mandiri Universitas Andalas tahun 2011 nomor kontrak: 003/UN.16/PL/M/III/2011. Atas bantuan dana ini penulis mengucapkan terima kasih banyak.

Referensi

Koike, Y., Murata, T., "Development of V-Shaped Hybrid Mass Damper and its Applications to High-Rise Buildings.", FA2-3. First World Conference on Structural Control, Los Angeles, California, USA (1994).

Mostaghel, N., Davis, T., "Representations of Coulomb Friction for Dynamic Analysis." Earthquake Engineering and Structural Dynamics 26, 541-548 (1997).

Zhou, Q., Lu, X., "Dynamic Analysis on Structures Base Isolated by A Ball System with restoring property." Earthquake Engineering And Structural Dynamics 27, 773- 791 (1998).

Almazan, J. L., De la llera, J. C., "Modelling Aspects

of Structures Isolated With the Frictional Pendulum System." Earthquake Engineering And Structural Dynamics 27, 845- 867 (1998).

Youssef, N., Nuttall, B., Rahman, A., Hata, O., "Passive control of The Los Angeles City Hall", FP2-54. First World Conference on Structural Control, Los Angeles, California, USA (1994).

Shing, P.B., Dixon, M.E., Kermiche, N., Su, R., Frangopol, M., "Control of building vibrations with active/passive devices." Earthquake Engineering and Structural Dynamics Vol. 25, 1019-1039 (1996)