

# OPTIMASI TUNED MASS DAMPER PADA BANGUNAN DI DAERAH GEMPA MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Deni Ariadi

Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 43 Yogyakarta  
Email: deniariadi.uajy@gmail.com

## ABSTRAK

*Tuned mass damper* (TMD) telah banyak digunakan untuk mengendalikan getaran dalam sistem teknik mesin. Dalam beberapa tahun terakhir teori TMD telah diadopsi untuk mengurangi getaran pada gedung-gedung tinggi dan struktur teknik sipil lainnya. Peredam dinamis dan *tuned mass damper* adalah realisasi dari untuk aplikasi mengontrol getaran struktur. Unsur-unsur inersia, daktail dalam perangkat tersebut adalah: massa, pegas dan dashpot (atau redaman material). Konfigurasi lain seperti pendulum/peredam, dan peredam cair (*liquid*), juga telah digunakan untuk aplikasi pengurangan getaran. TMD melekat pada struktur untuk mengurangi respon dinamik dari struktur. Frekuensi damper disetel ke frekuensi struktural tertentu sehingga ketika frekuensi yang kuat, damper akan beresonansi dengan gerakan struktural. Massa biasanya melekat pada bangunan melalui sistem pegas - dashpot dan energi diuraikan oleh dashpot sebagai gerak relatif berkembang antara massa dan struktur. Konsep yang dipergunakan dalam algoritma genetika adalah mengikuti apa yang dilakukan oleh alam. Hasil optimasi pada aplikasi ini menunjukkan bahwa, optimasi TMD pada struktur bangunan menggunakan algoritma genetika dapat mengoptimalkan sifat peredam dengan efektif. Pada penelitian ini menggunakan bentuk struktur portal sederhana 2D dengan derajat kebebasan tunggal. Dapat dilihat bahwa ketika rasio massa meningkat maka frekuensi rasio menurun seiring meningkatnya rasio massa, begitu pula sebaliknya rasio redaman TMD naik seiring meningkatnya rasio massa. Frekuensi alami naik maka frequency rasio akan naik. ketika frekuensi alami naik maka frequency rasio akan naik, sebaliknya rasio redaman TMD akan menurun. Penggunaan TMD yang disimulasikan pada struktur yang mengalami gempa El Centro 1940, Hachinohe 1968, Kobe 1995 dan Northridge 1994. Menunjukkan bahwa TMD yang digunakan mampu mengurangi atau meredam getaran-getaran dan perpindahan pada struktur.

**Kata kunci:** optimasi, *tuned mass damper*, algoritma genetika, gempa.

## 1. PENDAHULUAN

Teknik optimasi dengan menggunakan algoritma genetika telah banyak digunakan peneliti-peneliti terdahulu untuk mengoptimasi suatu struktur agar menjadi lebih efisien. Algoritma genetika banyak digunakan pada masalah praktis yang berfokus pada pencarian parameter-parameter optimal. Mekanisme dari penggunaan algoritma genetika berasal dari teori seleksi alam Charles Darwin dimana hanya populasi yang mempunyai nilai *fitness* yang tinggi yang mampu bertahan. Algoritma genetika telah digunakan untuk memperoleh solusi nilai optimum dan menunjukkan kelebihannya untuk menemukan solusi nilai optimum untuk persoalan-persoalan yang kompleks.

Sebelumnya didalam bidang teknik sipil, ada banyak yang lebih terdahulu meneliti di antaranya Arfiadi (2000), Arfiadi dan Hadi (2001). Populasi pada algoritma genetika merupakan calon solusi suatu permasalahan. Populasi ini akan mengalami proses evolusi yang berdasarkan pada mekanisme populasi yang mempunyai nilai *fitness* tertinggi (Arfiadi, 2000). Populasi-populasi ini akan mengubah *chromosome* untuk menghasilkan keturunan melalui tahap pindah silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*) sehingga populasi tersebut bertahan pada generasi selanjutnya. Individu yang "baik" dapat diliat dari nilai *fitness* yang tinggi dan akan bertahan dan dipilih untuk menjadi populasi pada generasi selanjutnya. Populasi yang mempunyai nilai *fitness* yang rendah akan digantikan dengan populasi yang mempunyai nilai *fitness* yang tinggi. Tentu saja beberapa populasi dengan nilai *fitness* yang rendah akan bertahan untuk menjadi populasi pada generasi selanjutnya, hal ini terjadi hanya karena populasi tersebut "beruntung". Nilai rata-rata *fitness* pada populasi yang ada akan lebih baik daripada populasi sebelumnya. Nilai *fitness* merepresentasikan fungsi objektif dari persoalan yang sebenarnya yang ingin didapatkan. Ukuran dari keoptimalan suatu populasi diukur dengan *fitness* masing-masing populasi. Kondisi ini membuat algoritma genetika dapat digunakan untuk persoalan optimasi yang susah dan kompleks sehingga mendapatkan solusi yang optimum dengan menggunakan cara yang mudah.

Penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan dari *fitnees* (*kd*) dan *damping* (*cd*). Menurut Arfiadi dan Hadi (2011), kombinasi antara optimasi dengan menggunakan algoritma genetika biner (*binary genetic algorithm*) dan algoritma genetika *real* (*real genetic algorithm*) dalam sebuah pengaturan disebut algoritma genetika *hybrid* (*hybrid genetic algorithm*). Penggunaan algoritma genetika *hybrid* (*hybrid genetic algorithm*) ini menunjukkan bahwa alat optimasi ini adalah stabil dan memiliki kemampuan untuk mengeksplorasi daerah *domain* yang tidak diketahui untuk kepentingan *design variables* terlebih pada bagian algoritma genetika *real* (*real genetic algorithm*).

## 2. ALGORITMA GENETIKA REAL

Algoritma genetika pertama kali ditemukan oleh John Holland dari Universitas Michigan pada awal 1970-an di New York, Amerika Serikat. John Holland lalu menghasilkan buku yang berjudul *“Adaption in Natural and Artificial Systems”* pada tahun 1975, yang cara kerjanya berdasarkan pada seleksi dan genetika alam. Konsep yang dipergunakan dalam algoritma genetika adalah mengikuti apa yang dilakukan oleh alam. Algoritma genetik khususnya diterapkan sebagai simulasi komputer dimana sebuah populasi representasi abstrak (kromosom) dari solusi-solusi calon (individual) pada sebuah masalah optimisasi akan berkembang menjadi solusi-solusi yang lebih baik. Secara tradisional solusi-solusi tersebut dilambangkan dalam biner sebagai string '0' dan '1', walaupun dimungkinkan juga penggunaan penyandian (*encoding*) yang berbeda. Evolusi dimulai dari sebuah populasi individual acak yang lengkap dan terjadi dalam generasi-generasi. Dalam tiap generasi kemampuan keseluruhan populasi dievaluasi, kemudian *multiple individuals* dipilih dari populasi sekarang (*current*) secara *stochastic* (berdasarkan kemampuan mereka) lalu dimodifikasi (dengan mutasi atau rekombinasi) menjadi bentuk populasi baru yang menjadi populasi sekarang (*current*) pada iterasi berikutnya dari algoritma.

Teknik optimasi dengan menggunakan algoritma genetika telah banyak digunakan peneliti-peneliti terdahulu untuk mengoptimasi suatu struktur agar menjadi lebih efisien. Algoritma genetika banyak digunakan pada masalah praktis yang berfokus pada pencarian parameter-parameter optimal. Mekanisme dari penggunaan algoritma genetika berasal dari teori seleksi alam Charles Darwin dimana hanya populasi yang mempunyai nilai *fitness* yang tinggi yang mampu bertahan. Algoritma genetika telah digunakan untuk memperoleh solusi nilai optimum dan menunjukkan kelebihannya untuk menemukan solusi nilai optimum untuk persoalan-persoalan yang kompleks.

Sebelumnya didalam bidang teknik sipil, ada banyak yang lebih terdahulu meneliti di antaranya Arfiadi (2000), Arfiadi dan Hadi (2001). Populasi pada algoritma genetika merupakan calon solusi suatu permasalahan. Populasi ini akan mengalami proses evolusi yang berdasarkan pada mekanisme populasi yang mempunyai nilai *fitness* tertinggi (Arfiadi, 2000). Populasi-populasi ini akan mengubah *chromosome* untuk menghasilkan keturunan melalui tahap pindah silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*) sehingga populasi tersebut bertahan pada generasi selanjutnya. Individu yang “baik” dapat diliat dari nilai *fitness* yang tinggi dan akan bertahan dan dipilih untuk menjadi populasi pada generasi selanjutnya. Populasi yang mempunyai nilai *fitness* yang rendah akan digantikan dengan populasi yang mempunyai nilai *fitness* yang tinggi. Tentu saja beberapa populasi dengan nilai *fitness* yang rendah akan bertahan untuk menjadi populasi pada generasi selanjutnya, hal ini terjadi hanya karena populasi tersebut “beruntung”. Nilai rata-rata *fitness* pada populasi yang ada akan lebih baik daripada populasi sebelumnya. Nilai *fitness* merepresentatifkan fungsi objektif dari persoalan yang sebenarnya yang ingin didapatkan. Ukuran dari keoptimalan suatu populasi diukur dengan *fitness* masing-masing populasi. Kondisi ini membuat algoritma genetika dapat digunakan untuk persoalan optimasi yang susah dan kompleks sehingga mendapatkan solusi yang optimum dengan menggunakan cara yang mudah.

Penelitian ini diharapkan dapat mengoptimalkan dari *fitnees (kd)* dan *damping (cd)*. Untuk optimalisasi sifat TMD, RCGA dengan bilangan real yang digunakan secara langsung. Misalnya bagi seorang individu awal yang memiliki empat variabel desain, empat nomor acak yang dihasilkan seperti yang digambarkan pada Gambar 2.7.

10.5 0.5 22.9 12.1

Gambar 1. Individu dengan 4 desain variabel

Meskipun ada banyak mutasi dan *Crossover* prosedur yang tersedia, crossover dan mutasi yang digunakan dalam makalah ini diambil sebagai berikut.

Untuk individu  $G_1$  dan  $G_2$  diambil untuk *Crossover*, keturunan yang dihasilkan  $G'_1$  dan  $G'_2$  mengikuti apa yang disebut *Crossover* seimbang (Herrera et al. 1998) sebagai berikut:

$$G'_1 = a (G_1 - G_2) + G_1 \quad (1)$$

$$G'_2 = a (G_2 - G_1) + G_2 \quad (2)$$

di mana  $a = \text{angka acak antara } 0 \text{ dan } 1$  Hal ini dapat dilihat bahwa untuk RCGA dengan menggunakan metode *crossover* ini domain yang menarik untuk optimasi tidak perlu diketahui, sebagai *crossover* memiliki kemampuan untuk menjelajahi domain yang tidak diketahui (Arfiadi dan Hadi). Ini adalah kemampuan RCGA untuk menjelajahi domain yang tidak diketahui tujuan yang bertentangan dengan BCGA. Sebagaimana dapat dilihat di bawah ini pada contoh, desainer bisa menebak nilai awal untuk Variabel desain yang sangat acak tanpa mempengaruhi nilai desain akhir.



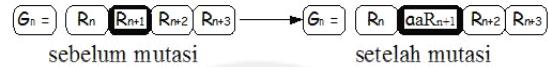
Gambar 2. Keseimbangan crossover RCGA

Untuk mutasi, variabel desain yang dihasilkan setelah mutasi sederhana adalah (Gambar 3):

$$G'_p = [R_1 \ R_2 \ \dots \ R'_j \ \dots \ R_N] \quad (3)$$

$$R'_j = \alpha a R_j \quad (4)$$

dimana  $\alpha > 1$ , dan  $a$  = nomor acak antara 0 dan 1.



Gambar 3. Proses mutasi

### 3. PROSEDUR OPTIMASI GA-H<sub>2</sub>

Tujuannya adalah untuk menentukan nilai optimum dari kd kekakuan dan cd redaman dari peredam yang meminimalkan fungsi transfer H<sub>2</sub> norm dari gangguan eksternal pada keluaran yang diatur. Perpindahan relatif dari struktur sehubungan dengan tanah yang diambil sebagai output diatur sedemikian rupa.

Untuk menoptimalkan TMD massa dari TMD yang ditentukan, kemudian kekakuan dan redaman di optimalkan. Oleh karena itu setelah membentuk persamaan gerak, persamaan gerak kemudian diubah kedalam persamaan vector Z. Hasil keluaran z sebagai respon untuk meminimalkan kemudian dipilih kedalam hubungan dengan *performa index*. Permasalahan ini dapat ditunjukkan sebagai berikut:

Diperoleh parameter TMD (kd,cd)

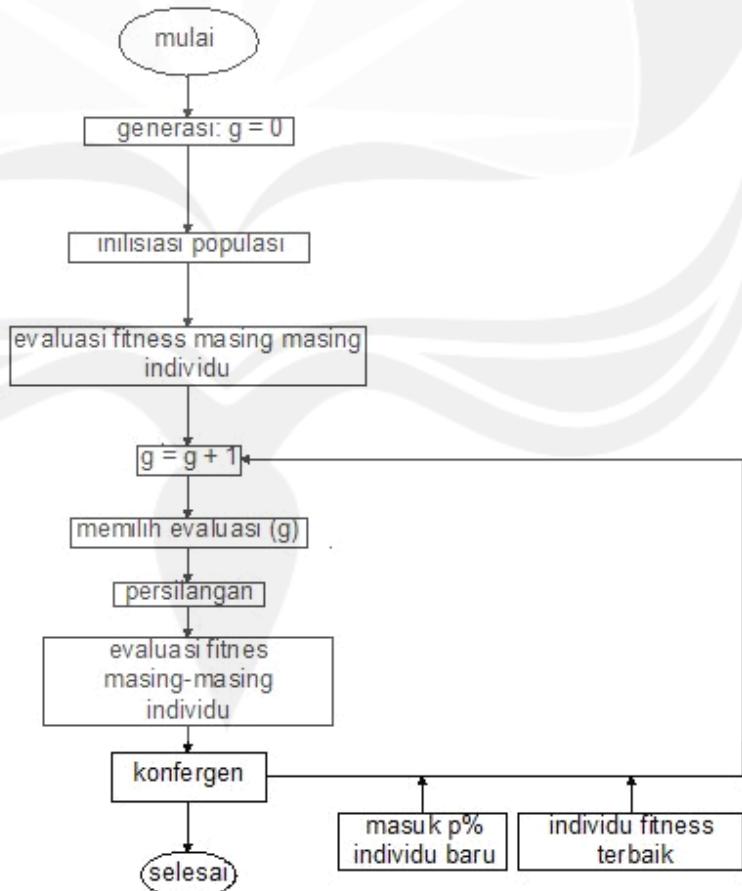
$$\dot{Z} = A \dot{Z} + Ew \quad (5)$$

$$z = C_z Z$$

$$\left[ \text{tr} \left( C_z L c C^T z \right) \right]^{1/2} = \left[ \text{tr} \left( E^T L o E \right) \right]^{1/2}$$

$$\text{Dimana } J = A L c + L c A^T + E E^T = 0 \text{ or} \quad (6)$$

$$A L^T L o A + C^T z C z = 0$$



Gambar 4. Flowchart algoritma genetika

#### 4. STUDI KASUS

Diketahui struktur portal 2D sederhana dengan derajat kebebasan tunggal (*SDOF*) terlihat pada gambar 4.1 digunakan dalam penelitian ini. Struktur diasumsikan sebagai bangunan geser. Untuk massa pada lantai sebesar  $m_1 = 115 \text{ t}$ ,  $m_2 = 115 \text{ t}$ ,  $m_3 = 115 \text{ t}$ ,  $m_4 = 115 \text{ t}$ ,  $m_5 = 115 \text{ t}$  dan kekakuan  $k_1 = 6740.74 \text{ kN/m}$ ,  $k_2 = 2778.94 \text{ kN/m}$ ,  $k_3 = 1500 \text{ kN/m}$ ,  $k_4 = 723.38 \text{ kN/m}$ ,  $k_5 = 474.61 \text{ kN/m}$ . Matrix redaman dengan koefisien redaman  $c_1 = 176.09 \text{ kN-det/m}$ ,  $c_2 = 113.06 \text{ kN-det/m}$ ,  $c_3 = 83.07 \text{ kN-det/m}$ ,  $c_4 = 57.68 \text{ kN-det/m}$ ,  $c_5 = 46.72 \text{ kN-det/m}$ . Pada penelitian ini nilai massa redaman sebesar  $m_{d1} = 1.38 \text{ t}$ ,  $m_{d2} = 2.07 \text{ t}$ ,  $m_{d3} = 2.99 \text{ t}$ ,  $m_{d4} = 3.91 \text{ t}$ ,  $m_{d5} = 4.83 \text{ t}$ , nilai optimum redaman dan kekakuan redaman menggunakan fungsi objektif H2 norm.

Sifat struktur dalam persamaan ini adalah :

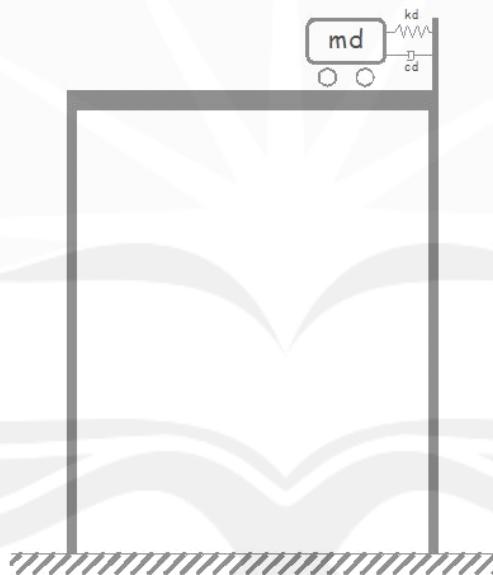
$$M = \text{diag} [m_1 \dots m_d]$$

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{u}_1 \\ \ddot{u}_d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_d & -c_d \\ -c_d & c_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{u}_1 \\ \dot{u}_d \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_d & -k_d \\ -k_d & k_d \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_d \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(t) \\ 0 \end{Bmatrix}$$

Dimana  $x_1 = \text{displacement}$  pada lantai 1. Parameter algoritma genetika diambil sebagai berikut:

Nilai maximum dari generasi = 400 Ukuran populasi = 20 Probabilitas crossover = 0.80 Probabilitas mutasi = 0.1 Nilai populasi = 10 % dari ukuran populasi.

Hasil optimasi keseluruhan dapat dilihat pada tabel 1-5. Untuk grafik rasio massa antara frekuensi rasio pada gambar 6 Pada gambar 7 rasio massa dan rasio redaman TMD. Pada gambar 8 perbandingan antara frekuensi alami dan rasio massa. Pada gambar 9 perbandingan antara frekuensi alami dan rasio redaman TMD.



Gambar 5. Struktur Portal

**Tabel 1. Hasil optimasi dengan rasio massa 1.2%**

No	m	k	md	$\mu$	$\omega$	PARAMETER									
						t	kN/m	t	%	(rad/det)	kN-det/m	kN/m	kN-det/m	(rad/det)	%
1	115	6740.74	1.38	0.012	7.656	176.0892	71.3016	1.0794	7.1880	0.0544	0.9389	0.8207			
2	115	2778.94	1.38	0.012	4.916	113.0624	29.4053	0.6946	4.6161	0.0545	0.9390	1.2782			
3	115	1500.00	1.38	0.012	3.612	83.0662	15.8719	0.5110	3.3914	0.0546	0.9390	1.7397			
4	115	723.38	1.38	0.012	2.508	57.6849	7.6660	0.3544	2.3569	0.0545	0.9397	2.5052			
5	115	474.61	1.38	0.012	2.032	46.7248	5.0221	0.2853	1.9077	0.0542	0.9390	3.0929			

**Tabel 2. Hasil optimasi dengan rasio massa 1.8%**

PARAMETER													
No	m	k	md	$\mu$	$\omega$	c	kd	cd	$\omega_d$	$\xi_d$	$\alpha$	T	
	t	kN/m	t	%	(rad/det)	kN-det/m	kN/m	kN-det/m	(rad/det)	%	%	det	
1	115	6740.74	2.07	0.018	7.656	176.0892	104.0421	1.9573	7.0896	0.0667	0.9260	0.8207	
2	115	2778.94	2.07	0.018	4.916	113.0624	42.8839	1.2536	4.5516	0.0665	0.9259	1.2782	
3	115	1500.00	2.07	0.018	3.612	83.0662	23.1606	0.9221	3.3450	0.0666	0.9262	1.7397	
4	115	723.38	2.07	0.018	2.508	57.6849	11.1579	0.6408	2.3217	0.0667	0.9257	2.5052	
5	115	474.61	2.07	0.018	2.032	46.7248	7.3265	0.5194	1.8813	0.0667	0.9261	3.0929	

**Tabel 3. Hasil optimasi dengan rasio massa 2.6%**

PARAMETER													
No	m	k	md	$\mu$	$\omega$	c	kd	cd	$\omega_d$	$\xi_d$	$\alpha$	T	
	t	kN/m	t	%	(rad/det)	kN-det/m	kN/m	kN-det/m	(rad/det)	%	%	det	
1	115	6740.74	2.99	0.026	7.656	176.0892	145.3439	3.3334	6.9721	0.0800	0.9107	0.8207	
2	115	2778.94	2.99	0.026	4.916	113.0624	59.9058	2.1430	4.4761	0.0801	0.9106	1.2782	
3	115	1500.00	2.99	0.026	3.612	83.0662	32.3421	1.5858	3.2889	0.0806	0.9107	1.7397	
4	115	723.38	2.99	0.026	2.508	57.6849	15.5415	1.0887	2.2799	0.0799	0.9090	2.5052	
5	115	474.61	2.99	0.026	2.032	46.7248	10.2298	0.8846	1.8497	0.0800	0.9105	3.0929	

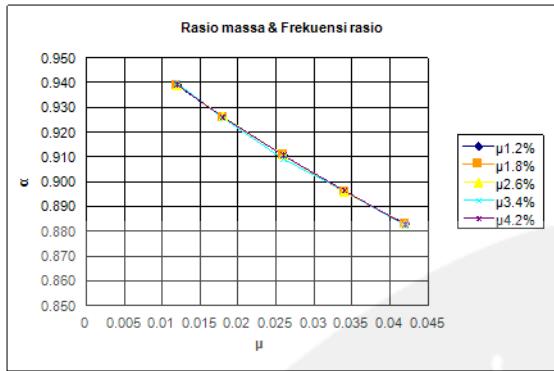
**Tabel 4. Hasil optimasi dengan rasio massa 3.4%**

PARAMETER													
No	m	k	md	$\mu$	$\omega$	c	kd	cd	$\omega_d$	$\xi_d$	$\alpha$	T	
	t	kN/m	t	%	(rad/det)	kN-det/m	kN/m	kN-det/m	(rad/det)	%	%	det	
1	115	6740.74	3.91	0.034	7.656	176.0892	183.9582	4.8847	6.8592	0.0911	0.8959	0.8207	
2	115	2778.94	3.91	0.034	4.916	113.0624	75.8161	3.1518	4.4034	0.0915	0.8958	1.2782	
3	115	1500.00	3.91	0.034	3.612	83.0662	40.9432	2.3068	3.2360	0.0912	0.8960	1.7397	
4	115	723.38	3.91	0.034	2.508	57.6849	19.758	1.6170	2.2479	0.0920	0.8963	2.5052	
5	115	474.61	3.91	0.034	2.032	46.7248	12.965	1.3001	1.8209	0.0913	0.8964	3.0929	

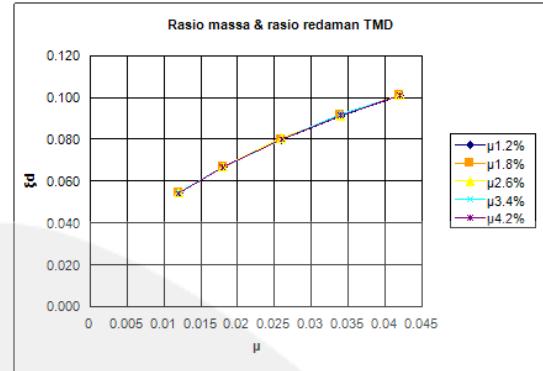
**Tabel 5. Hasil optimasi dengan rasio massa 4.2%**

PARAMETER													
No	m	k	md	$\mu$	$\omega$	c	kd	cd	$\omega_d$	$\xi_d$	$\alpha$	T	
	t	kN/m	t	%	(rad/det)	kN-det/m	kN/m	kN-det/m	(rad/det)	%	%	det	
1	115	6740.74	4.83	0.042	7.656	176.0892	220.7485	6.5877	6.7604	0.1009	0.8830	0.8207	
2	115	2778.94	4.83	0.042	4.916	113.0624	90.9918	4.2363	4.3404	0.1010	0.8830	1.2782	
3	115	1500.00	4.83	0.042	3.612	83.0662	49.0905	3.1138	3.1881	0.1011	0.8827	1.7397	
4	115	723.38	4.83	0.042	2.508	57.6849	23.6507	2.1551	2.2128	0.1008	0.8823	2.5052	
5	115	474.61	4.83	0.042	2.032	46.7248	15.5299	1.7473	1.7931	0.1009	0.8827	3.0929	

Pada tabel hasil optimasi menampilkan rasio massa diplot terhadap frekuensi rasio, dapat dilihat bahwa ketika rasio massa meningkat maka frekuensi rasio menurun seiring meningkatnya rasio massa, seperti yang ditampilkan pada gambar 6. Gambar 7 menampilkan rasio massa diplot terhadap rasio redaman TMD, dapat dilihat bahwa ketika rasio massa meningkat maka rasio redaman TMD naik seiring meningkatnya rasio massa, seperti yang ditampilkan pada gambar 7.

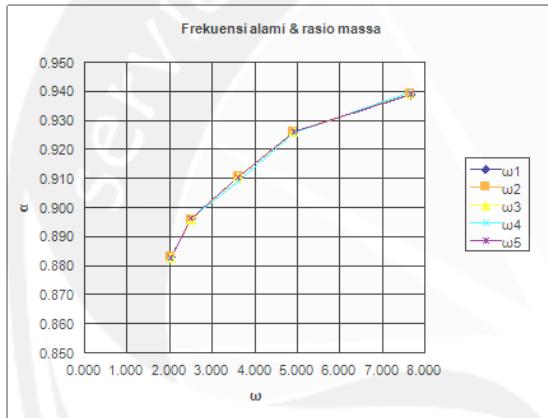


**Gambar 6. Rasio massa & frekuensi rasio**

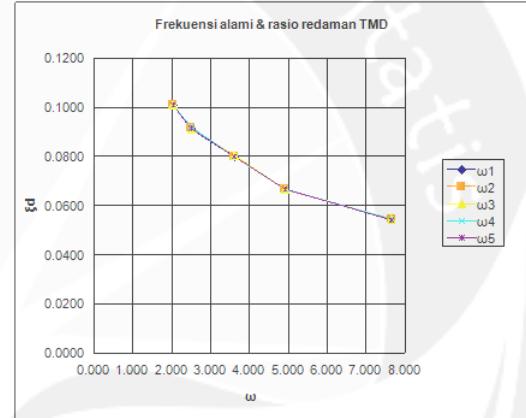


**Gambar 7. Rasio massa & rasio redaman TMD**

Pada gambar 8 menampilkan frekuensi alami diplot terhadap frekuensi rasio, dapat dilihat bahwa ketika frekuensi alami naik maka frekuensi rasio akan naik, seperti yang ditampilkan gambar 8. Gambar 9 menampilkan frekuensi alami diplot terhadap rasio redaman TMD, dapat dilihat bahwa ketika frekuensi alami meningkat maka rasio redaman TMD menurun, seperti yang ditampilkan pada gambar 9.



**Gambar 8. Frekuensi alami & frekuensi rasio**



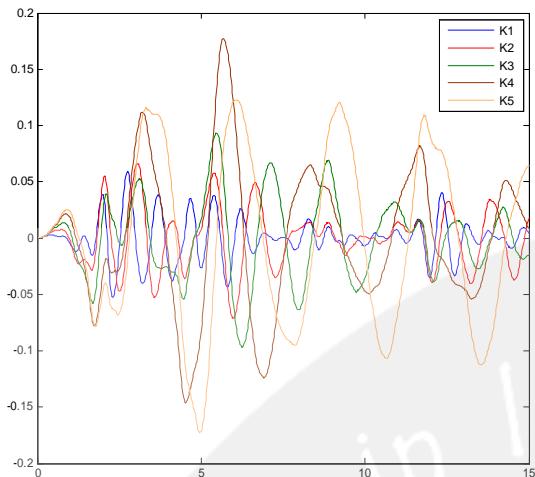
**Gambar 9. Frekuensi alami & rasio redaman TMD**

#### 4.1. TIME HISTORY RESPONSE

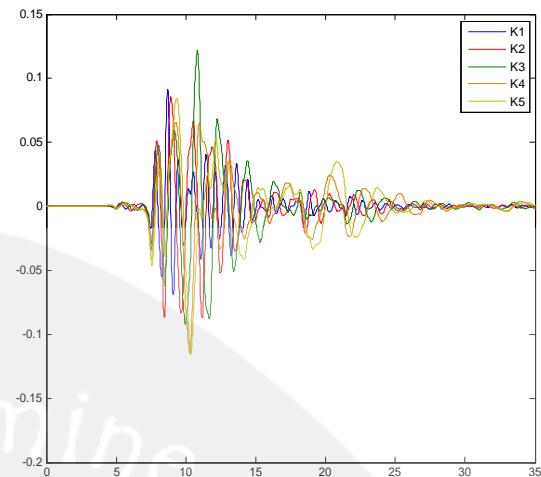
Berikut ini simulasi *time history response* pada struktur yang mengalami gempa El Centro 1940 dan Kobe 1994 ditampilkan pada gambar 10,11. Dari hasil simulasi ini, menggunakan nilai dari rasio massa dan kekakuan yang ditampilkan pada tabel 6, dimana semakin besar nilai kekakuan maka perpindahan pada struktur semakin rendah.

**Tabel 6. Hasil optimasi dengan rasio massa 1.2%**

No	PARAMETER							
	m	k	md	μ	ω	c	T	
t	kN/m	t	%	(rad/det)	kN-det/m	det		
1	115	6740.74	1.38	0.012	7.656	176.0892	0.8207	
2	115	2778.94	1.38	0.012	4.916	113.0624	1.2782	
3	115	1500.00	1.38	0.012	3.612	83.0662	1.7397	
4	115	723.38	1.38	0.012	2.508	57.6849	2.5052	
5	115	474.61	1.38	0.012	2.032	46.7248	3.0929	



**Gambar 10. Time history response gempa El Centro**



**Gambar 11. Time history response gempa Kobe**

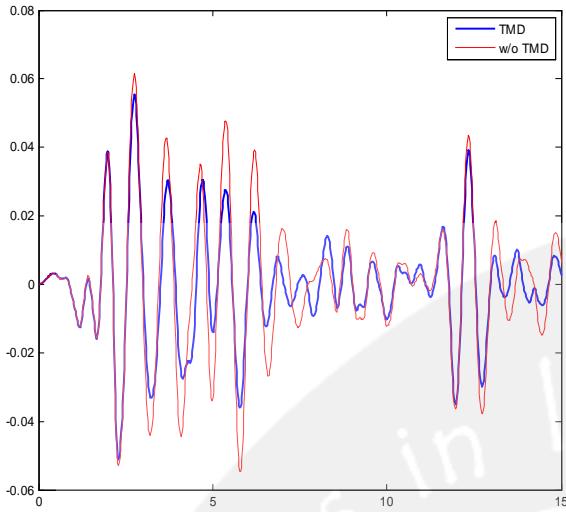
Untuk melihat efektivitas TMD dalam mengurangi getaran pada struktur akibat gempa, struktur ini disimulasikan mengalami gempa El Centro 1940, Hachinohe 1968, Kobe 1995 dan Northridge 1994. Hasil simulasinya ditampilkan pada gambar 12-19 untuk time history response dari gempa El Centro 1940, Hachinohe 1968, Kobe 1995 dan Northridge 1994. Dari hasil perhitungan *time history response* dengan menggunakan bantuan program *MATLAB 2013*, dapat dilihat pada gambar 12-15 dimana disimulasikan menggunakan data gempa El Centro 1940, Hachinohe 1968, Kobe 1995 dan Northridge 1994, serta simulasinya yang ditampilkan pada gambar 12-15 dengan menggunakan nilai rasio massa 4.2% dan nilai kekakuan yang ditampilkan pada tabel 8 nomor 5, terlihat pada struktur yang menggunakan TMD dapat mengurangi perpindahan pada struktur yang disimulasikan akibat beban gempa. Berikut tabel nilai perpindahan dari hasil simulasinya beberapa wilayah gempa:

**Tabel 7. Hasil perpindahan akibat gempa**

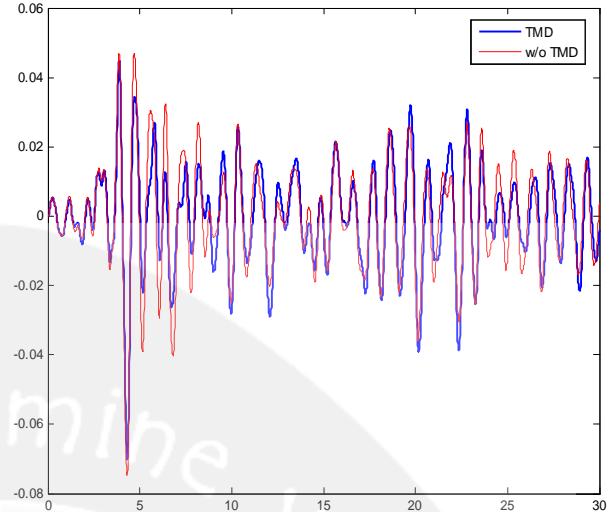
Perpindahan (m)							
El Centro		Hachinohe		Kobe		Northridge	
TMD	w/o TMD	TMD	w/o TMD	TMD	w/o TMD	TMD	w/o TMD
0.0555	0.0615	0.0449	0.0469	0.0862	0.0943	0.0427	0.0428

**Tabel 8. Hasil optimasi**

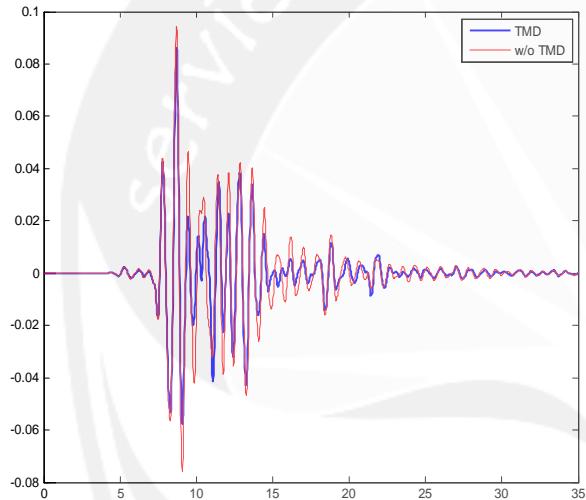
No	m	k	md	$\mu$	Parameter				
					t	kN/m	t	%	rad/det
1	115	6740.74	1.38	1.20%	71.302	1.079	0.054	0.054	7.656
2	115	6740.74	2.07	1.80%	104.042	1.957	0.067	0.067	4.916
3	115	6740.74	2.99	2.60%	145.344	3.333	0.080	0.080	3.612
4	115	6740.74	3.91	3.40%	183.958	4.885	0.092	0.092	2.508
5	115	6740.74	4.83	4.20%	220.749	6.588	0.101	0.101	2.032



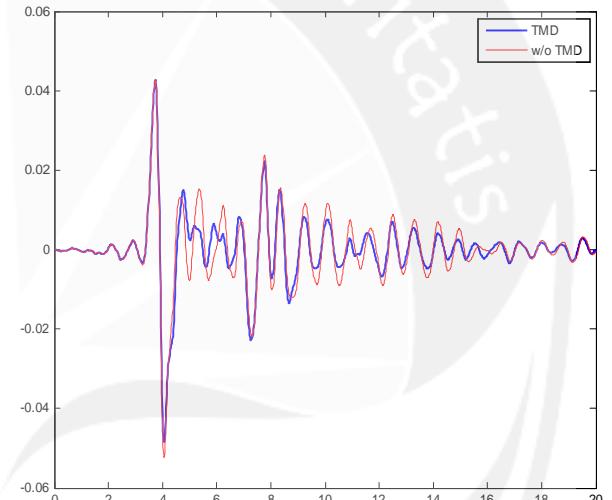
**Gambar 12. Time history response gempa El Centro**



**Gambar 13. Time history response gempa Hachinohe**



**Gambar 14. Time history response gempa Kobe**



**Gambar 15. Time history response gempa Northridge**

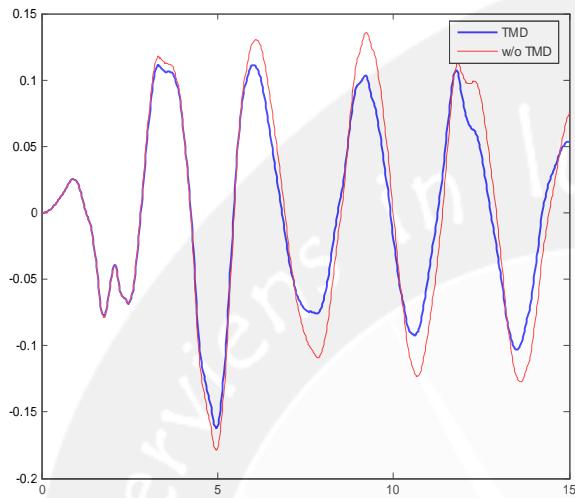
Pada gambar 16-19 dimana disimulasikan menggunakan data gempa El Centro 1940, Hachinohe 1968, Kobe 1995 dan Northridge 1994, serta simulasi yang di tampilkan pada gambar 16-19 dengan menggunakan nilai rasio massa 4.2% dan nilai kekakuan yang ditampilkan pada tabel 9 nomor 5, terlihat pada struktur yang menggunakan TMD tersebut dapat mengurangi getaran dan perpindahan pada struktur yang mengalami akibat beban gempa, namun pada gambar 16-18 menggunakan nilai kekakuan struktur yang rendah, sehingga perpindahan struktur akibat beban gempa sangatlah besar, dapat dikatakan bahwa didalam perencanaan struktur nilai kekakuan yang besar sangatlah berpengaruh dalam menahan beban gempa. Berikut tabel 10 menampilkan nilai perpindahan dari hasil simulasi dari beberapa wilayah gempa:

**Tabel 9. Hasil optimasi**

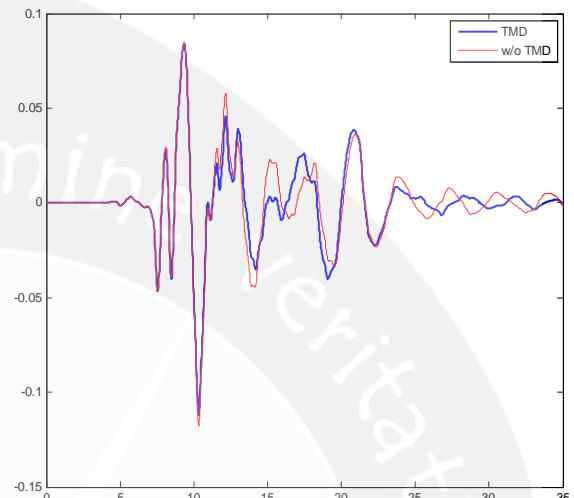
No	Parameter								
	m	k	md	$\mu$	kd	cd	$\xi_{d1}$	$\omega$	
	t	kN/m	t	%	kN/m	kN-det/m	%	rad/det	
1	115	474.61	1.38	1.20%	5.022	0.285	0.054	7.656	
2	115	474.61	2.07	1.80%	7.327	0.519	0.067	4.916	
3	115	474.61	2.99	2.60%	10.230	0.885	0.080	3.612	
4	115	474.61	3.91	3.40%	12.965	1.300	0.092	2.508	
5	115	474.61	4.83	4.20%	15.530	1.747	0.101	2.032	

**Tabel 10. Hasil perpindahan akibat gempa**

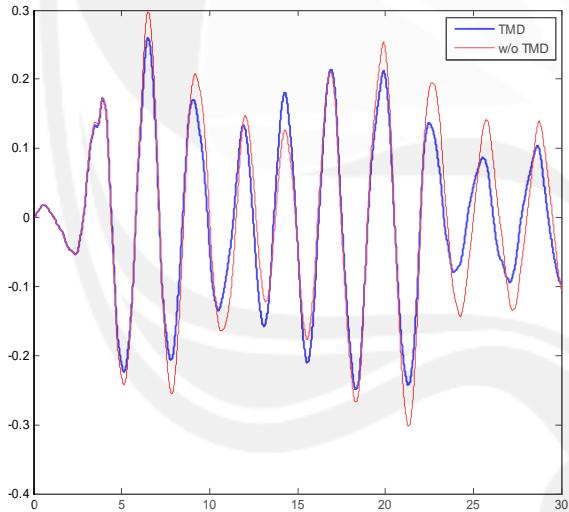
Perpindahan (m)							
El Centro		Hachinohe		Kobe		Northridge	
TMD	w/o TMD	TMD	w/o TMD	TMD	w/o TMD	TMD	w/o TMD
0.1113	0.136	0.2599	0.2977	0.0842	0.0846	0.1592	0.1793



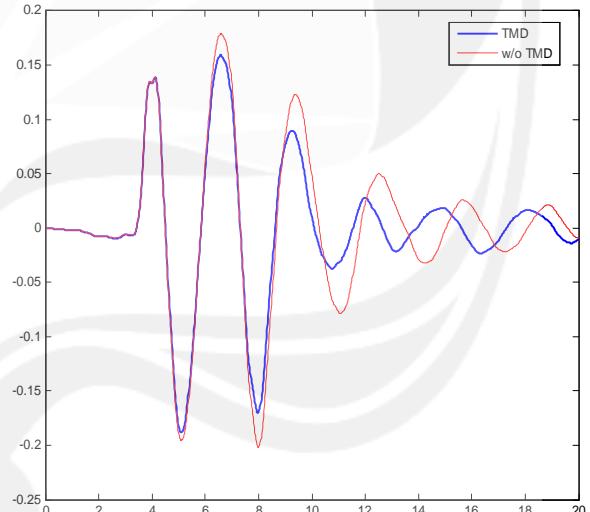
**Gambar 16. Time history response gempa El Centro**



**Gambar 17. Time history response gempa Kobe**



**Gambar 18. Time history response gempa Hachinohe**



**Gambar 19. Time history response gempa Northridge**

## 5. SIMPULAN

Dari hasil analisis diatas maka dapat di ambil simpulan sebagai berikut:

Dapat dilihat bahwa ketika rasio massa meningkat maka frekuensi rasio menurun seiring meningkatnya rasio massa. Ketika rasio massa meningkat maka rasio redaman TMD naik seiring meningkatnya rasio massa. Serta frekuensi alami naik maka frequency rasio akan naik dan frekuensi alami naik maka rasio redaman TMD menurun.

Dari hasil simulasi pada struktur yang mengalami gempa El Centro 1940 dan Kobe 1995 dengan menggunakan nilai dari rasio massa dan kekakuan dari yang kecil hingga besar, dimana semakin besar nilai kekakuan yang ada pada struktur maka nilai perpindahan pada struktur tersebut semakin kecil perpindahannya dan getaran yang terjadi.

Untuk keefektifan dalam penggunaan TMD yang disimulasikan pada struktur yang mengalami gempa El Centro 1940, Hachinohe 1968, Kobe 1995 dan Northridge 1994. Menunjukkan bahwa TMD yang digunakan mampu mengurangi atau meredam getaran-getaran dan perpindahan pada struktur.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arfiadi, Y (2008). *"Dual Active Tuned Mass Damper For Reducing Response Of Asymmetric Buildings"*, International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation, Jakarta, April 14-15, 2008.
- Arfiadi, Y (2014). *"Buku Kuliah Dinamika Struktur Lanjut"*, Universitas Atma Jaya Yogyakarta.
- Arfiadi, Y (2000). *"Optimal Passive and Active Control Mechanisms For Seismically Exited Buildings"*, Universitas Of Wollongong Thesis Colecion.
- Arfiadi, Y. Hadi MNS (2001). *"Optimal Direct (Static) Output Feedback Controller Using Real Coded Genetic Algorithms"*. International Journal of Computer and Structures, Vol.79 No. 17, 1625-1634.
- Arfiadi, Y. Hadi MNS (2011). *"Optimum placement and properties of tuned mass dampers using hybrid genetic algorithms*. Int.J.Optim". Civil Eng., 1:167-187.
- Chopra A.K.(1997) *"Dynamic Of Structure"*. International Edition.
- Clough, R.W. dan Penzien, J. (1997). *"Dinamika Struktur"*, jilid I. Penerbit Erlangga.Jakarta.
- Gilat, Amos (2004). *MATLAB: An Introduction with Applications* 2nd Edition. John Wiley & Sons.
- Hartog, D. J. P. (1947). *"Mechanical vibrations"*. McGraw-Hill, New York, N.Y.
- Widodo.(2001). *"Respons Dinamik Struktur Elastik"*. UII Press Jogjakarta. Jogjakarta.