

Analisis Struktur Portal Baja Menggunakan Sistem *Tuned Mass Damper*

Effy Hidayaty¹

¹Dosen Tetap Sekolah Tinggi Teknologi SaptaTaruna, Program Studi Teknik Sipil
Email: effy_hidayaty@yahoo.co.id

Abstract. Earthquake-resistant structures should be designed and built whereby they are supposed to withstand earthquakes with minimum damage and without catastrophe collapse. As no structure can be entirely immune to damage due to earthquakes, the goal of the earthquake-resilient building is to ensure that the risk of collapse can be minimized or reduced. One of the ways to minimize structural damage is using a damping system, like tuned mass dampers. Tuned Mass Damper (TMD) is a mass that is connected to a structure by a spring and a damping element without any other support, to reduce vibration of the structure. Many parameters affect its performance, including its properties, location of placement, number, and percentage of mass. This article will present an analysis of steel structures that using an optimized tuned mass damper. By placing the tuned mass damper on the top floor and the outermost column, there is a significant reduction in drift, structural period, base shear, velocity, and acceleration of the steel frame..

Keywords: tuned mass damper, damping, natural periods, reduce vibration

Pendahuluan

Bangunan tahan gempa harus dirancang dan dibangun sedemikian rupa, sehingga diharapkan tahan terhadap gempa bumi dengan kerusakan minimal dan tanpa kehancuran akibat bencana. Seiring perkembangan teknologi dalam perencanaan tahan gempa, telah dikembangkan suatu pendekatan desain alternatif untuk mengurangi resiko kerusakan bangunan tahan gempa, dan mampu mempertahankan integritas komponen struktural dan non struktural terhadap gempa kuat. Salah satu pendekatan desain ini bukan dengan cara memperkuat struktur bangunan, tetapi dengan mengontrol gaya gempa yang bekerja pada bangunan.

Sistem kontrol pada struktur terdiri dari sistem kontrol pasif dan sistem kontrol aktif. Sistem kontrol pasif bekerja tanpa menggunakan tambahan energi luar, sehingga gaya kontrol hanya dapat memberikan respons pada struktur dalam batasan tertentu. Walaupun demikian, penggunaan sistem ini masih diminati karena kemudahan pengerjaan dan ketahanannya. Sedangkan sistem kontrol aktif bekerja menggunakan tambahan energi luar, sehingga mekanisme kerjanya lebih efektif bila dibandingkan dengan kontrol pasif. Hal ini dikarenakan sistem kontrol aktif dapat

memberikan gaya kontrol pada parameter struktur seperti perpindahan, kecepatan dan percepatan sampai batasan tertentu [1].

Keunggulan masing-masing sistem kontrol tentunya memberikan pilihan bagi para *engineer* untuk mengaplikasikannya pada bangunan struktural. Walaupun teknologi kontrol yang banyak berkembang pada abad ke-20 adalah sistem kontrol aktif dan *hybrid*, namun penggunaan sistem kontrol pasif masih menjadi alternatif yang lebih relevan dikarenakan total biaya konstruksi yang lebih murah dan pemasangan alat yang lebih sederhana. Salah satu sistem peredam yang mampu mengurangi respons perpindahan struktur secara pasif adalah *Tuned Mass Damper* (TMD).

Tuned mass damper (TMD) dikenal juga sebagai peredam pendulum, yang sebenarnya sesungguhnya tidaklah peredam, tetapi lebih mendekati sebagai pendulum atau osilator yang berdasarkan gravitasi yang dipasang di suatu tempat di struktur sedemikian rupa sehingga mampu melawan vibrasi pada satu atau lebih *mode*, sehingga akhirnya dapat memperkecil respons struktur akibat angin atau seismik pada *mode-mode* tersebut [2].

Kehandalan teknologi dalam memperkecil respons struktur tidak diragukan lagi.

Penggunaan teknologi peredam ini telah banyak dilakukan di seluruh dunia, salah satu penggunaan TMD yang terbesar di dunia saat ini terdapat pada Menara Taipei 101, yang dibangun pada tahun 2004, dengan ketinggian 660 ft dengan jumlah lantai 101. Menara menggunakan sistem pendulum yang terbuat dari bola baja raksasa dengan diameter 18 ft dan berat 728 ton. Bola baja ini akan bergerak berlawanan dengan pergerakan struktur, digantung dengan beberapa kabel baja yang disatukan menjadi sling. Sementara pada bagian bawah bola, terdapat 8 *viscous damper* yang bekerja mengurangi perpindahan struktur, sehingga TMD diklaim bisa mengurangi 40% perpindahan struktur [3].

Untuk mengetahui kehandalan teknologi TMD dalam memperkecil respons struktur, berikut akan diteliti secara lebih detail tentang Parameter-parameter yang mempengaruhi kinerja TMD, Penentuan TMD yang telah dioptimalkan pada sistem struktur rangka baja, Perbandingan kinerja sistem struktur rangka baja tanpa dan dengan TMD, dimana ruang lingkup pembahasan berupa perilaku struktur adalah nonlinier, pembebanan yang dilakukan dalam analisis adalah beban gempa. Struktur yang dianalisis adalah struktur rangka baja 5 lantai 2D, analisis yang dilakukan adalah membandingkan kinerja sistem struktur tanpa dan dengan TMD dan analisis struktur dengan *riwayat waktu*.

Tuned Mass Dampper

Tuned Mass Damper (TMD) adalah alat yang direncanakan dengan menambahkan redaman pada struktur untuk frekuensi tertentu. Penambahan redaman akan mengurangi amplitudo osilasi dari struktur. Konsep TMD diperkenalkan oleh Frahm, 1909 pada kapal dan teori ini dikembangkan dan dipresentasi oleh Ormondroyd dan den Hartog, 1928 serta diaplikasikan pada struktur SDOF pertama kali dengan beban sinusidal, dan dikembangkan lebih lanjut oleh banyak peneliti seperti

Crandall, et al (1981), Warburton (1981, 1982), Warburton dan Ayorinde (1980) dan Tsai dan Lin (1993) [2].

Tuned Mass Damper (TMD) merupakan sistem yang terdiri dari massa m yang mampu berosilasi dalam arah horizontal, vertikal atau keduanya. Elemen peredam hidrolis, dipasang pada massa untuk mengubah energi kinetik struktur menjadi energi panas [3].

Analisis Portal Baja dengan Turned Mass Damper

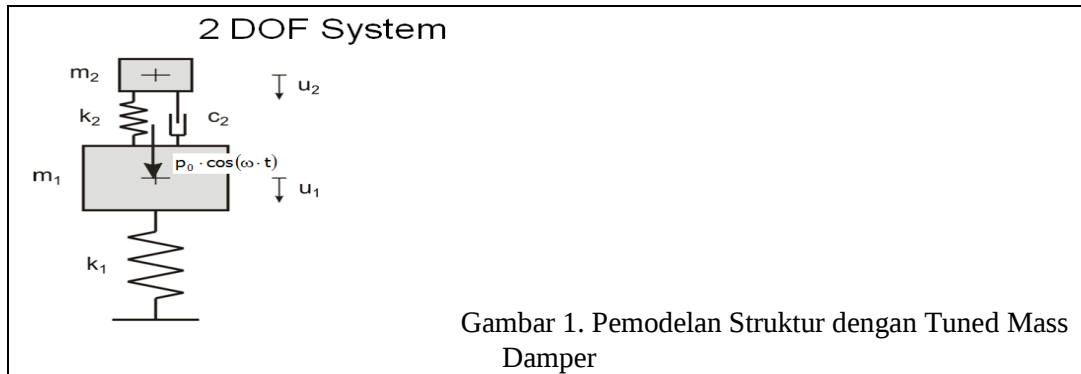
Tujuan utama pemasangan TMD pada gedung tinggi adalah untuk mengurangi goyangan yang berlebihan akibat beban angin dan menetralkan getaran akibat beban gempa. Diharapkan respons dinamik dari gedung dengan TMD akan menjadi lebih kecil bila struktur tersebut menerima gaya dinamik berupa angin maupun gempa

Penggunaan alat TMD dalam aplikasinya telah banyak dipergunakan yang pada umumnya diletakkan pada puncak suatu gedung bertingkat. Pada penelitian ini penempatan TMD divariasikan untuk memperoleh perletakan TMD yang paling efektif dalam mengantisipasi simpangan struktur.

1.1 Parameter-Parameter Yang Mempengaruhi Kinerja TMD

Dalam menganalisis TMD dengan program SAP2000 2 dimensi, TMD dimodelkan menggunakan sistem pegas – massa dengan peredam, seperti berikut ini, **Pegas**, menentukan properties pegas sebagai link linier 2 titik, dimana satu titik menempel pada struktur dan satu lagi bebas; **Massa**, berat massa ditentukan kemudian sebagai titik bebas; **Peredam**, sebagai peredam linier mencakup pada properti link linier sementara peredam non-linier dimodelkan sebagai *link viscous damping* yang paralel dengan link linier.

Ditinjau suatu sistem struktur m_1 yang diberikan peredam Tuned Mass Damper m_2 , seperti pada gambar 1 berikut.



Jika m_2 , c_2 dan k_2 adalah properties dinamik dari Tuned mass damper, maka menurut www.14.in.tum.de/konferenzen/.../Stroscher.ppt [4] dinyatakan,

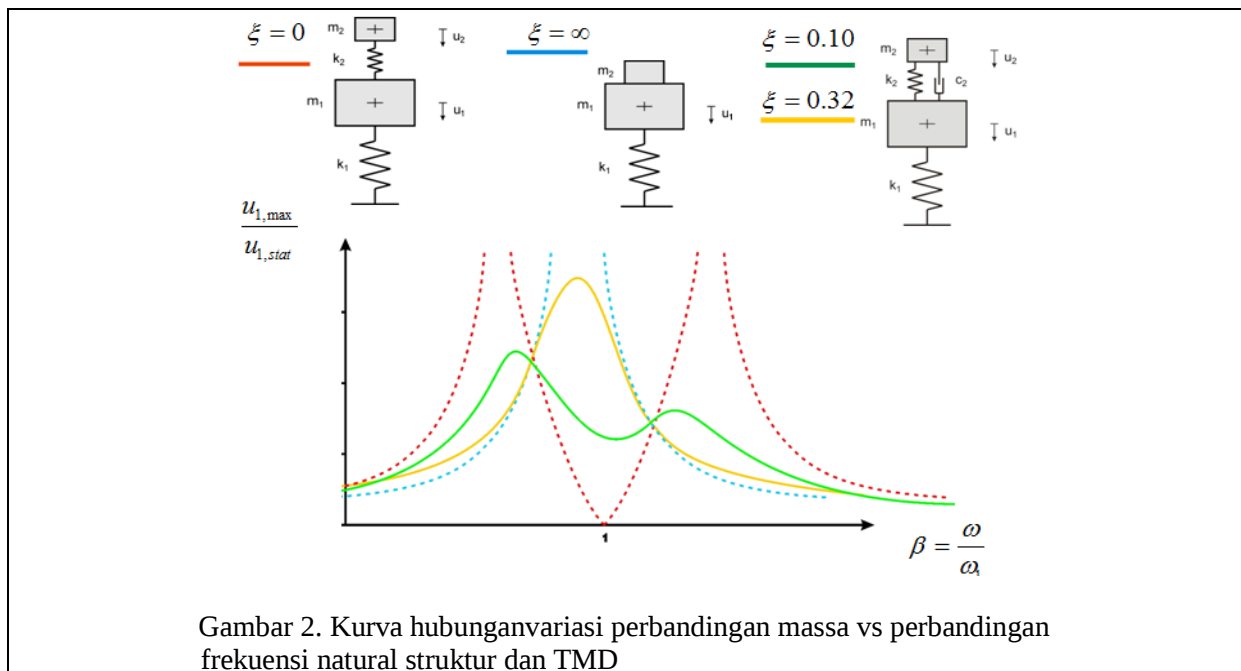
$$\text{Perioda } T = \sqrt{\frac{M}{K}} = \sqrt{\frac{L}{g}} \text{ dan panjang tali pendulum } L = T^2 g \quad (1)$$

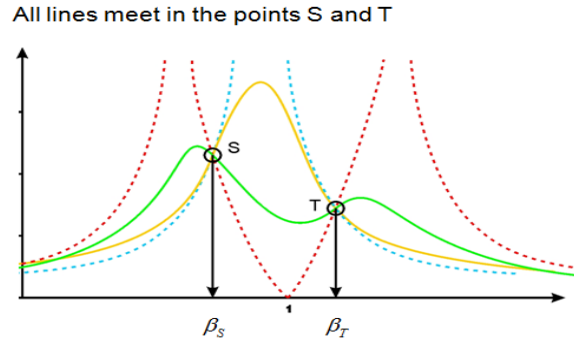
$$\text{Mass ratio } \mu = \frac{m_2}{m_1} \quad (2)$$

$$\text{Damping ratio of Lehr, } \xi = \frac{c_2}{2 m_2 \omega_2} \quad (3)$$

$$\text{Ratio of frequencies, } \alpha = \frac{\omega_2}{\omega_1} \quad (4)$$

Jika nilai ξ divariasikan nilainya sebagai berikut





Gambar 3. Optimalisasi Desain TMD

Dilakukan optimisasi TMD agar diperoleh deformasi terkecil, $u_{1,S} = u_{1,T}$, diperoleh

Optimal ratio of frequencies $\alpha = \frac{1}{1 + \mu}$,
merupakan optimal spring constant k_2

Optimal damping constant,

$$\xi_{opt} = \sqrt{\frac{3\mu}{8(1+\mu)^3}}$$

Disarankan untuk menggunakan rasio mass $\mu = 0,02 - 0,1$, rasio frekuensi $\alpha = 0,98 - 0,86$ dan rasio damping Lehr $\xi = 0,08 - 0,20$ [3]

3.2 Pendefinisian Tuned Mass Damper

Analisis struktur dilakukan pada portal baja 5 lantai, 2 dimensi dengan jumlah bentang 3 buah, bentang per portal 6 m, lebar bentang tegak lurus portal yang ditinjau 4,8 m, tinggi per lantai 4,2 m. Beban gempa El Centro 1940. Bangunan berada di kota Bandung dengan tanah lunak (SE). Material baja A36, Dimensi balok W500x200x10x16, kolom W600x200x11x17.

Untuk menentukan properties damper, dilakukan analisis struktur dengan SAP2000 untuk mengetahui periode struktur awal, seperti berikut ini.

Tabel 1. Periode struktur hasil analisis untuk struktur tanpa TMD.

Mode	Periode (det)	Frekuensi Natural (siklus/det)	Frekuensi Natural (rad/det)	Eigen Value (rad ² /det ²)
Tanpa TMD				
1	0,23975	4,1706E+0	2,6204E+0	6,8667E+0
	0	0	1	2
2	0,07465	1,3394E+0	8,4160E+0	7,0829E+0
	8	1	1	3
3	0,04071	2,4561E+0	1,5432E+0	2,3815E+0
	5	1	2	4
4	0,02723	3,6723E+0	2,3074E+0	5,4241E+0
	1	1	2	4
5	0,02128	4,6977E+0	2,9517E+0	8,7124E+0
	7	1	2	4

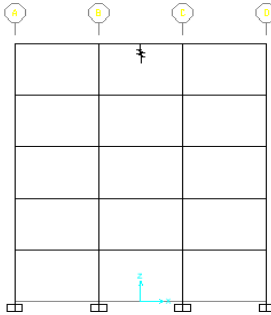
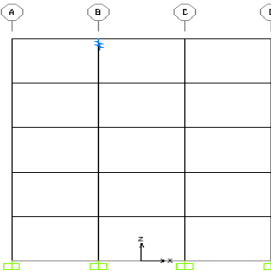
Dari hasil perhitungan table di atas, periode pertama struktur adalah 0,239775 detik. Frekuensi yang akan di-tuned adalah frekuensi pertama sebesar 2,6204 rad/det. Berat total struktur adalah 4889,242 kN.

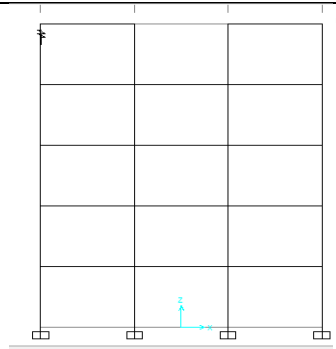
Dari nilai periode mode 1 struktur dan mass rasio μ digunakan 0,05 dan menggunakan persamaan (1) s/d (6), dihitung properties TMD, berupa panjang tali pendulum (L), massa pendulum m_2 , koefisien redaman c_2 , kekakuan pendulum k_2 .

Dengan properties TMD yang telah detuned tadi, dilakukan analisis ulang struktur dengan TMD dengan aplikasi SAP2000, dengan harapan periode struktur yang terjadi lebih kecil. Analisis dilakukan pada berbagai posisi

TMD pada puncak struktur, bisa pada kolom interior, atau kolom eksterior. Biasanya makin jauh posisi TMD, makin memperkecil perioda struktur yang terjadi [4,5]

Tabel 2. Penempatan TMD pada berbagai posisi dan periodanya.

Posisi TMD	Perioda (det)	Keterangan
 Di tengah-tengah bentang	18,645	Belum memenuhi syarat
 Kolom interior	18,641	Belum memenuhi syarat

 Kolom eksterior	0,2325 18	Kondisi desain sudah tercapai, dimana $T_{mode\ ke\ 1\ pada\ kondisi\ TMD} < T_{non\ TMD}$
---	--------------	--

Nilai perioda yang diperoleh jauh lebih kecil dari struktur tanpa TMD, sehingga akhirnya diperoleh posisi TMD paling optimal adalah pada pertemuan balok kolom terluar (eksterior) dan pendulum dipasang vertikal dengan properties TMD, yaitu $k_2=13,93\text{ kN det}^2/\text{m}$, massa $m_2 = 244,462\text{ kN}$, $c_2 = 16,271\text{ kN det}/\text{m}$, panjang tali pendulum $L = 0,57\text{ m}$ serta luas $0,0057\text{ m}^2$, rasio massa $\mu = 0,05$, rasio frekuensi $\alpha = 0,952$, $\zeta_{opt} = 0,0127$

4. Hasil dan Pembahasan

Analisis struktur yang dilakukan dengan aplikasi SAP2000 2 dimensi dan menghasilkan seperti berikut ini.

4.1 Perioda dan Frekuensi

Tabel 3. Hasil Analisis Perioda dan Frekuensi Struktur Tanpa/Dengan TMD.

MODE	Perioda (det)	Frekuensi (siklus/det)	Frekuensi (rad/det)	Eigen Value (rad ² /det ²)
Tanpa TMD				
1	0,239775	4,1706E+00	2,6204E+01	6,8667E+02
2	0,074658	1,3394E+01	8,4160E+01	7,0829E+03
3	0,040715	2,4561E+01	1,5432E+02	2,3815E+04
4	0,027231	3,6723E+01	2,3074E+02	5,4241E+04
5	0,021287	4,6977E+01	2,9517E+02	8,7124E+04
Dengan TMD				
1	0,232518	4,3007	27,022	730,21
2	0,073348	13,6340	85,663	7388,1
3	0,040576	24,6450	154,850	23979
4	0,027229	36,5900	229,900	52856
5	0,021341	46,8580	294,420	86683

Tabel 3 diatas memperlihatkan perioda struktur yang semakin kecil, semakin kaku. Kekakuan pada struktur ini disebabkan adanya tambahan peredam, yang mampu melawan vibrasi pada satu atau lebih *mode*

4.2 Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

Gaya geser dasar yang terjadi pada struktur dengan TMD dan Non TMD sebagai berikut.

Tabel 4. Gaya Geser Dasar (*Base Shear*)

		Base shear (kN)	
		Tanpa TMD	Dengan TMD
X	Maksimum	102.951	128.578
	Minimum	-102.951	-128.578

Tabel 4. memperlihatkan gaya geser dasar hasil analisis untuk struktur tanpa TMD dan struktur dengan TMD. Berdasarkan analisis dengan program SAP 2000 dapat dijelaskan bahwa sistem struktur dengan TMD mampu menyerap energi gempa tambahan jika dibandingkan dengan struktur tanpa TMD

4.3 Response Struktur tanpa/dengan *Tuned Mass Damper* (TMD)

Hasil analisis struktur dengan redaman dan tanpa redaman dapat dilihat pada Tabel 5. Parameter yang dianalisis adalah

displacements antar lantai, kecepatan dan percepatan pada lantai.

Tabel 5. Response struktur dengan TMD dan tanpa TMD

Mode	Perpindahan (mm)	Kecepatan (mm/detik)	Percepatan (mm/detik ²)	
Tanpa TMD				
5	Maks	143.732	624.2	11583.87
	Min	-144.169	-624.2	-11583.87
4	Maks	143.772	590.8	10517.59
	Min	-143.772	-590.8	-10517.59
3	Maks	143.451	527.9	8474.70
	Min	-143.436	-527.9	-8474.70
2	Maks	142.994	435.6	5452.88
	Min	-142.985	-435.6	-5452.88
1	Maks	142.518	334.9	3746.17
	Min	-142.375	-334.9	-3746.17
Dengan TMD				
5	Maks	10.584	561.7	14597.50
	Min	-32.368	-561.7	-14597.50
4	Maks	11.084	534.7	13279.26
	Min	-26.591	-534.7	13279.26
3	Maks	10.364	484.5	10815.56
	Min	-19.169	-484.5	-10815.56
2	Maks	7.456	408.5	10815.56
	Min	-11.365	-408.5	-10815.56
1	Maks	3.185	348.4	7060.06
	Min	-4.057	-348.4	-7060.06

Dari tabel terlihat terdapat perbedaan yang cukup besar antara respons struktur yang dipasang TMD dengan yang tidak dipasang, dimana terlihat nilai perpindahan yang terjadi jauh lebih kecil pada TMD. Hal yang sama juga berlaku untuk nilai kecepatan dan percepatan.

5. Kesimpulan

Penggunaan *Tuned Mass Damper (TMD)* pada struktur rangka baja yang dikenai beban gempa mampu mereduksi respon struktur baik perpindahan, kecepatan maupun percepatan, dimana kinerja struktur yang menggunakan TMD lebih baik dibandingkan kinerja struktur tanpa damping.

Tuned Mass Damper dituned dan didasarkan pada mode pertama pada struktur, sehingga penentuan perioda dan frekuensi natural struktur sangat diperlukan., dalam hal ini SAP2000.

Perlu dilakukan optimalisasi dalam menentukan parameter properties *Tuned Mass Damper*, agar diperoleh hasil yang lebih baik. Parameter TMD yang perlu dioptimalkan dalam mereduksi respons struktur adalah lokasi penempatan TMD, persentase massa TMD (μ), jumlah TMD yang ditempatkan pada struktur. Masing-masing parameter ini

harus diatur sedemikian rupa, sehingga memberikan hasil yang efektif dan terbukti mampu meningkatkan kinerja struktur menghadapi beban gempa dan angin.

6. Referensi

- [1] Hidayaty, E., Setio, H. D., *Peningkatan Kinerja Peredam Viskos Tipe Dinding Dengan Penambahan Kekasaran Plat Dalam Pada Struktur Baja Terhadap Beban Gempa*, Prosiding Konferensi Nasional Pascasarjana Teknik Sipil 2016, Goro, G.L. (eds), ITB, pp 73-81, 2016.
- [2] Francklin Y. Cheng, Hongping Jiang, Kangyu Lou, “*Smart Structures Innovative Systems for Seismic response Control*”, CRC Press, 2008.
- [3] www.14.in.tum.de/konferenzen/.../Stroscher.ppt
- [4] R. J McNamara (1977): *Tuned Mass Dampers For Buildings*. Journal of the Structural Division, ASCE, 103(ST9):1985-1998
- [5] Gamdo, B., Sarrazin, M., *Effectiveness Of Tuned Mass Dampers (TMD) For Earthquake Protection In Chilean Buildings*, Conference: 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017, At: Chile, Januari 2017