

OPTIMASI LETAK DAN SIFAT PEREDAM MASSA SELARAS UNTUK MENGURANGI RESPONS STRUKTUR AKIBAT GEMPA

Yoyong Arfiadi¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta
Email: yoyong@mail.uajy.ac.id

ABSTRAK

Peredam massa selaras (PMS) saat ini banyak digunakan untuk mengurangi pengaruh getaran struktur. Dengan menambah suatu massa kecil dengan kekakuan dan redaman tertentu pada struktur, respons struktur dapat dikurangi. Pada awal perkembangannya sistem ini digunakan untuk mengurangi pengaruh getaran pada struktur berderajat kebebasan tunggal yang dikenai beban harmonik pada massa utama. Mengingat kegunaannya, sistem ini telah dikembangkan juga untuk mengurangi pengaruh getaran pada sistem berderajat kebebasan majemuk seperti gedung yang dikenai beban gempa. Optimasi sifat-sifat PMS pada suatu sistem berderajat kebebasan majemuk hanya mungkin dilakukan secara numerik, karena *closed form solution* tidak mungkin atau sangat sulit diperoleh. Selain hal tersebut pada penelitian-penelitian terdahulu umumnya proses optimasi dibatasi hanya untuk memperoleh sifat-sifat PMS, yaitu kekakuan dan redaman PMS, sedangkan letak PMS biasanya sudah ditentukan terlebih dahulu. Pada tulisan ini baik letak dan sifat-sifat PMS dioptimasi agar diperoleh respons yang optimum pada suatu struktur yang dikenai guncangan tanah akibat gempa. Untuk keperluan tersebut algoritma genetik hibrida (AG-H) digunakan di mana letak PMS dinyatakan dengan bilangan biner dan sifat-sifat PMS dinyatakan dengan bilangan riil. Letak PMS dioptimasi dengan algoritma genetik biner (AG-B) sedangkan sifat-sifat PMS dioptimasi dengan algoritma genetik riil (AG-R). Kedua algoritma tersebut diintegrasikan menjadi AG-H. Sebagai fungsi obyektif dalam optimasi adalah H_2 norm dari guncangan tanah terhadap respons yang akan diminimumkan. Pada bagian akhir ditunjukkan aplikasi algoritma ini pada suatu struktur portal bidang serta perbandingan respons struktur yang dapat diminimumkan akibat pengaruh beban gempa.

Kata kunci: optimasi, respons struktur akibat gempa, peredam massa selaras, algoritma genetik

1. PENDAHULUAN

Untuk mengurangi pengaruh getaran pada struktur telah banyak dilakukan oleh para peneliti, di antaranya adalah dengan memasang peredam massa selaras. Walaupun demikian karena *closed form solution* hanya terdapat pada struktur sederhana (berderajat kebebasan tunggal) dengan beban sederhana, maka perlu dilakukan teknik optimasi untuk mendapatkan nilai-nilai optimum peredam tersebut. Beberapa metoda untuk mendapatkan nilai optimum di antaranya telah dibahas pada Warburton (1982) dan Den Hartog (1947), yang pada umumnya digunakan untuk sistem berderajat kebebasan tunggal. Dengan modifikasi tertentu, cara tersebut juga biasa digunakan pada struktur dengan model berderajat kebebasan majemuk.

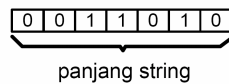
Optimasi PMS untuk struktur berderajat kebebasan majemuk telah dibahas di antaranya oleh Arfiadi dan Hadi (1998) dan Lee dkk. (2006). Pada Hadi dan Arfiadi (1998) digunakan algoritma genetik (AG) dengan *binary coding* atau algoritma genetik biner (AG-B). Karena digunakan *binary coding* maka perkiraan nilai PMS perlu diberikan, mengingat batas atas dan batas bawah nilai yang akan dioptimasi diperlukan untuk menentukan panjang string pada *binary coding*. Jika perencana tidak mempunyai pengalaman akan nilai-nilai perkiraan tersebut maka AG-B akan salah dalam memprediksi nilai optimum yang dicari. Untuk mengatasi hal itu algoritma genetik riil (AG-R) telah banyak dikembangkan (Herrera dkk., 1998, Michalewicz, 1996).

Untuk kasus tertentu selain nilai optimum PMS yang dapat dinyatakan dengan bilangan riil, letak atau lokasi PMS pada struktur yang berupa bilangan integer juga perlu diperoleh. Untuk hal itu suatu teknik optimasi yang menggabungkan *binary coding* dan *real coding* diperlukan dalam hal ini.

2. TEKNIK OPTIMASI

Ada banyak cara untuk melakukan optimasi salah satu cara adalah dengan algoritma genetik (AG) yang dikembangkan oleh Holland pada tahun 70an (Holland, 1992, Goldberg, 1987, Michalewicz, 1996). AG mengikuti prinsip *survival of the fittest* dari Darwin, yaitu individu yang paling fit akan bertahan dan diteruskan ke generasi berikutnya. Berbeda dengan metoda optimasi yang lain, dalam AG tidak diperlukan derivatif dari fungsi yang akan dioptimasi. Selain itu dalam AG kemungkinan jawaban atas permasalahan dilakukan dengan cara melalui lebih dari satu kemungkinan. Hal ini dikarenakan dalam AG variabel rencana tidak hanya satu, tapi merupakan suatu populasi tertentu. Setiap individu dalam populasi mempunyai nilai ketahanan (*fitness*) tertentu, yang merupakan representasi dari fungsi obyektif yang akan dioptimasi. Setiap individu dalam populasi akan mengalami perubahan genetik melalui mutasi dan kawin silang untuk membentuk individu baru dengan nilai ketahanan yang baru dalam suatu generasi yang baru. Nilai ketahanan setiap individu yang baru pada generasi ini dihitung berdasarkan fungsi obyektif yang telah ditentukan. Proses ini dilakukan berulang-ulang dari generasi ke generasi. Pada akhir generasi yang telah ditetapkan, individu yang paling fit dipilih sebagai variabel rencana.

Pada awal perkembangannya, algoritma genetik dengan bilangan biner (AG-B) banyak digunakan. Dalam AG-B setiap variabel dinyatakan dengan string yang berisi 0 dan 1 seperti terlihat pada Gambar 1. Panjang string ditentukan oleh ketelitian dan besarnya nilai variabel yang akan dioptimasi. Oleh karena itu perlu ditentukan batas atas dan batas bawah dari bilangan yang dicari. Hal ini akan berpengaruh pada panjang string yang harus disediakan.

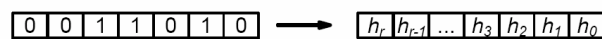


Gambar 1. Representasi individu sebagai variabel rencana

Dalam AG-B setiap string dapat diubah menjadi bilangan integer dengan menggunakan persamaan:

$$t_i = \sum_{j=0}^r h_j \times 2^j \quad (1)$$

dengan h_j = string ke j dari kanan (0 atau 1), r = panjang string-1 seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



$$t_i = \sum_{j=0}^r h_j \times 2^j$$

Gambar 2. Transformasi biner ke integer

Jika variabel rencana merupakan bilangan riil maka nilai integer dari string dapat diubah menjadi bilangan riil yang tergantung pada batas atas dan batas bawah dari variabel rencana yang telah ditentukan menurut persamaan:

$$R_i = L_i + \frac{t_i (U_i - L_i)}{(2^h - 1)} \quad (2)$$

dengan R_i = bilangan riil variable i , L_i = nilai batas bawah variabel rencana i , U_i = batas atas variabel rencana i , h_i = panjang string variable i .

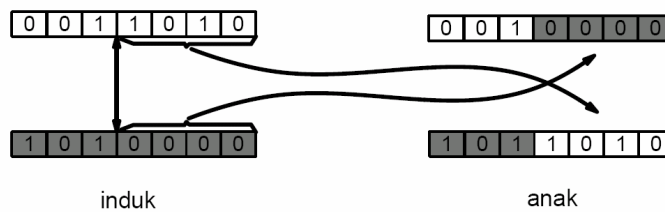
Panjang string setiap variabel harus memenuhi:

$$2^{(h_i-1)} < (U_i - L_i) \times 10^{p_i} \leq 2^{h_i} \quad (3)$$

dengan p_i = angka ketelitian desimal yang diinginkan.

Dalam hitungan, nilai batas atas dan batas bawah untuk perkiraan nilai variabel yang dicari harus ditentukan terlebih dahulu. Hal ini merupakan salah satu kelemahan dari AG-B, karena jika perencana tidak mempunyai pengalaman dalam memperkirakan batas-atas variabel yang akan dihitung, AG-B akan salah memperkirakan nilai optimum yang dicari.

Setiap individu akan mengalami mutasi dan kawin silang. Dua buah individu yang terpilih untuk kawin silang akan menghasilkan individu baru seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Pemilihan individu yang mengalami kawin silang dapat dilakukan dengan prosedur berdasarkan putaran roda rolet (*roulette wheel based procedure*).



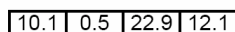
Gambar 3. Kawin silang pada satu lokasi

Pada proses mutasi, individu yang terpilih untuk mutasi mengalami proses sebagai berikut: bit string suatu individu dipilih secara acak. Selanjutnya bit string tersebut mengalami mutasi dengan cara mengganti string dengan 0 jika asalnya 1, atau 1 jika asalnya 0 seperti ditunjukkan dalam Gambar 4.



Gambar 4. Mutasi

Saat ini mengingat banyak permasalahan optimasi melibatkan bilangan riil maka algoritma genetik dengan bilangan riil (AG-R) banyak digunakan (Michalewicz, 1996, Herrera dkk., 1998, Arfiadi dan Hadi, 2001). Dalam hal ini individu dalam populasi adalah individu yang berisi bilangan riil seperti ditunjukkan dalam Gambar 5.



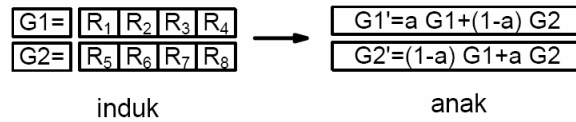
Gambar 5. Representasi individu dengan bilangan riil untuk 4 variabel rencana

Ada berbagai teknik untuk mutasi dan kawin silang pada AG-R (Herrera dkk., 1998). Dalam tulisan ini proses kawin silang yang dilakukan adalah *arithmetic crossover* (Gambar 6). Untuk individu G_1 dan G_2 yang dipilih untuk kawin silang dihasilkan turunan G_1' dan G_2' sebagai berikut:

$$G_1' = aG_1 + (1-a)G_2 \quad (4a)$$

$$G'_2 = (1-a)G_1 + aG_2 \tag{4b}$$

a = bilangan random antara 0 dan 1. Dengan teknik kawin silang ini maka AG-R mempunyai kemampuan untuk memprediksi variabel rencana dengan rentang yang besar dan tidak terpaku pada nilai perkiraan awal batas atas dan batas bawah yang telah ditetapkan (Arfiadi dan Hadi, 2001).



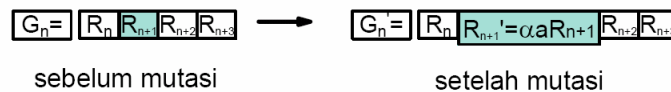
Gambar 6. Arithmetic crossover

Untuk mutasi, digunakan mutasi sederhana seperti ditunjukkan pada Gambar 7 yaitu variabel rencana pada individu yang terpilih untuk mutasi menjadi:

$$G'_p = [R_1 \ R_2 \ \dots \ R'_j \ \dots \ R_N] \tag{5a}$$

$$R'_j = \alpha a R_j \tag{5b}$$

dengan $\alpha > 1$, dan a = bilangan random antara 0 dan 1.



Gambar 7. Mutasi sederhana

Dalam praktek, sering dijumpai variabel rencana yang merupakan kombinasi antara bilangan integer dan riil. Untuk mengakomodasi tersebut algoritma genetik hibrida (AG-H) dapat digunakan, yaitu dengan mengkombinasikan AG-B dengan AG-R. Untuk keperluan tersebut telah dibuat suatu program dalam Matlab untuk optimasi dengan fungsi obyektif yang dapat didefinisikan secara fleksibel. Diagram alir AG-H dapat dilihat pada Gambar 8. Pada Gambar 8 digunakan pula strategi elitis (Grefenstette, 1988) di mana individu yang paling fit selalu diteruskan ke generasi berikutnya.

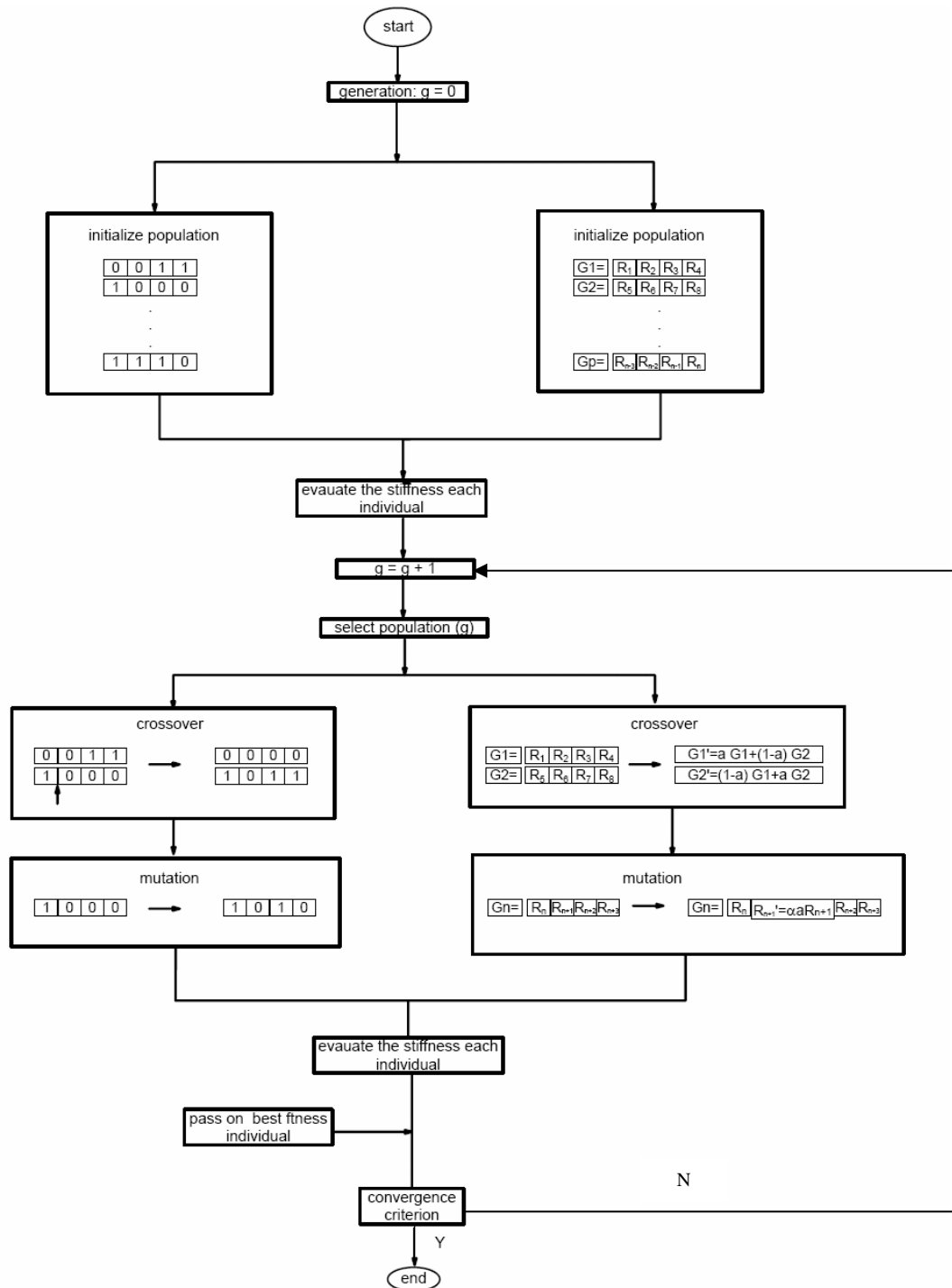
3. APLIKASI AG-H UNTUK PERENCANAAN PMS

Ditinjau suatu struktur hipotetik 10 lantai dengan data seperti ditunjukkan pada Gambar 9. AG-H digunakan untuk mengoptimasi sifat-sifat peredam dan letak peredam pada struktur. Letak peredam dinyatakan dengan AG-B sedangkan sifat-sifat peredam, yaitu redaman dan kekakuan, dinyatakan dengan AG-R, sehingga merupakan kombinasi sebagai AG-H. Dalam bidang kontrol alat ini dikenal sebagai *tuned mass damper* (TMD) atau peredam massa selaras (PMS). Dalam analisis, struktur dimodelkan sebagai bangunan geser.

Dalam hitungan letak peredam dinyatakan dengan string 0 dan/atau 1. Nilai redaman dan kekakuan PMS dinyatakan dengan bilangan riil sedangkan massa PMS dinyatakan tetap = 115 t. AG-H yang telah dikembangkan selanjutnya digunakan untuk mengoptimasi dengan ketentuan sebagai berikut:

generasi maksimum = 400; jumlah populasi = 30; probabilitas kawin silang = 0,45; probabilitas mutasi = 0,10; jumlah individu baru menggantikan individu lama = 5%.

Karena letak PMS berkisar antara 1 sampai dengan 10 selanjutnya dinyatakan dengan string berisi 0 dan 1. Dalam hal ini batas bawah variabel rencana untuk letak PMS = 1 dan batas atas = 10. Untuk batas atas dan bawah nilai redaman dan kekakuan dapat diambil sembarang.



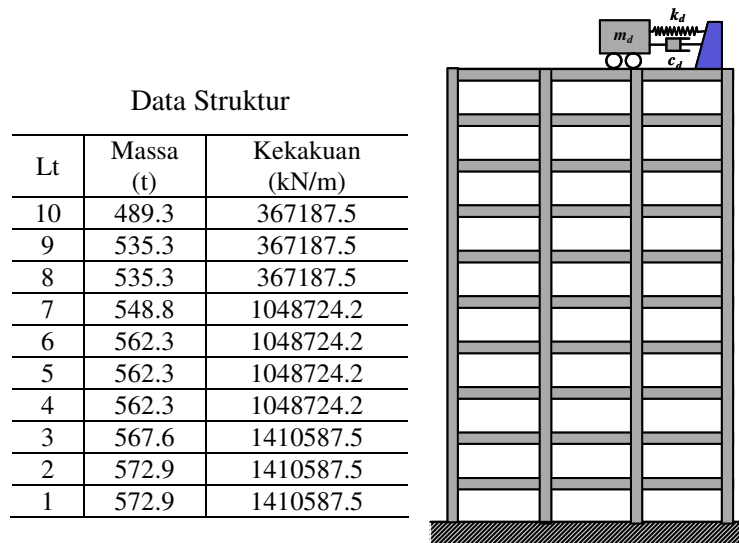
Gambar 8. Diagram alir algoritma genetik hibrida

Untuk mengoptimasi letak dan sifat PMS telah digunakan fungsi obyektif $norm H_2$ fungsi transfer dari gangguan luar terhadap keluaran. Keluaran yang akan diminimumkan dalam kasus ini adalah perpindahan struktur. Karena dalam AG yang dicari adalah individu yang paling fit, maka fungsi obyektif diambil invers dari $norm H_2$, yaitu

$$J = C_w \times \frac{1}{norm H_2} \quad (6)$$

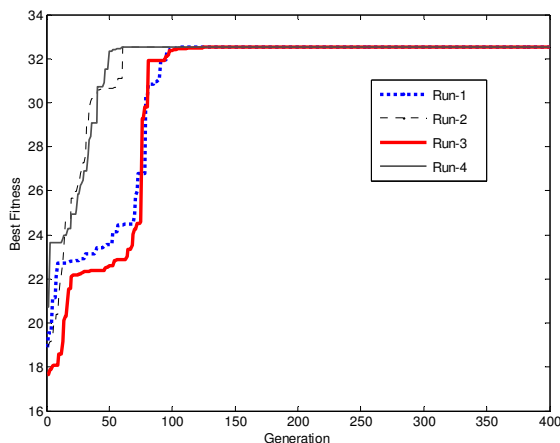
dengan J = fungsi yang akan dimaksimumkan dan C_w = konstanta untuk menskalakan fungsi obyektif agar mempunyai nilai yang baik untuk dibandingkan, dalam hal ini diambil $C_w = 10$. Agar diperoleh proses yang stabil,

hasil redaman dan kekakuan PMS yang bernilai negatif dipenalti dengan menggantikan J dengan suatu bilangan riil yang sangat kecil yang masih dapat diterima oleh program.



Gambar 9. Data struktur hipotetik

Telah dilakukan empat kali *run* untuk mendapatkan nilai-nilai optimum tersebut. Riwayat nilai ketahanan terbaik individu disajikan pada Gambar 10. Perlu dicatat bahwa nilai batas atas dan bawah dari nilai redaman dan kekakuan PMS pada setiap kali *run* dibuat berbeda dan diambil seperti pada Gambar 10. Dari Gambar 10 tampak bahwa AG-H telah dapat memperkirakan nilai optimum, walaupun dengan perkiraan awal nilai optimum kekakuan dan redaman PMS yang berbeda bahkan jauh dari nilai optimumnya. Berdasarkan nilai fungsi obyektif yang paling besar, diperoleh nilai optimum redaman $c_d = 175,033$ kN-det/m dan kekakuan $k_d = 4540,369$ kN/m, serta letak PMS pada lantai 10. Perbandingan nilai optimum dengan metoda Den Hartog (1947) dan Warbuton (1982) juga dicantumkan pada Tabel 1.



	Nilai batas bawah	Nilai batas atas
Run-1	0	100
Run-2	90	100
Run-3	12	20
Run-4	0	10000

Gambar 10. Nilai ketahanan individu terbaik

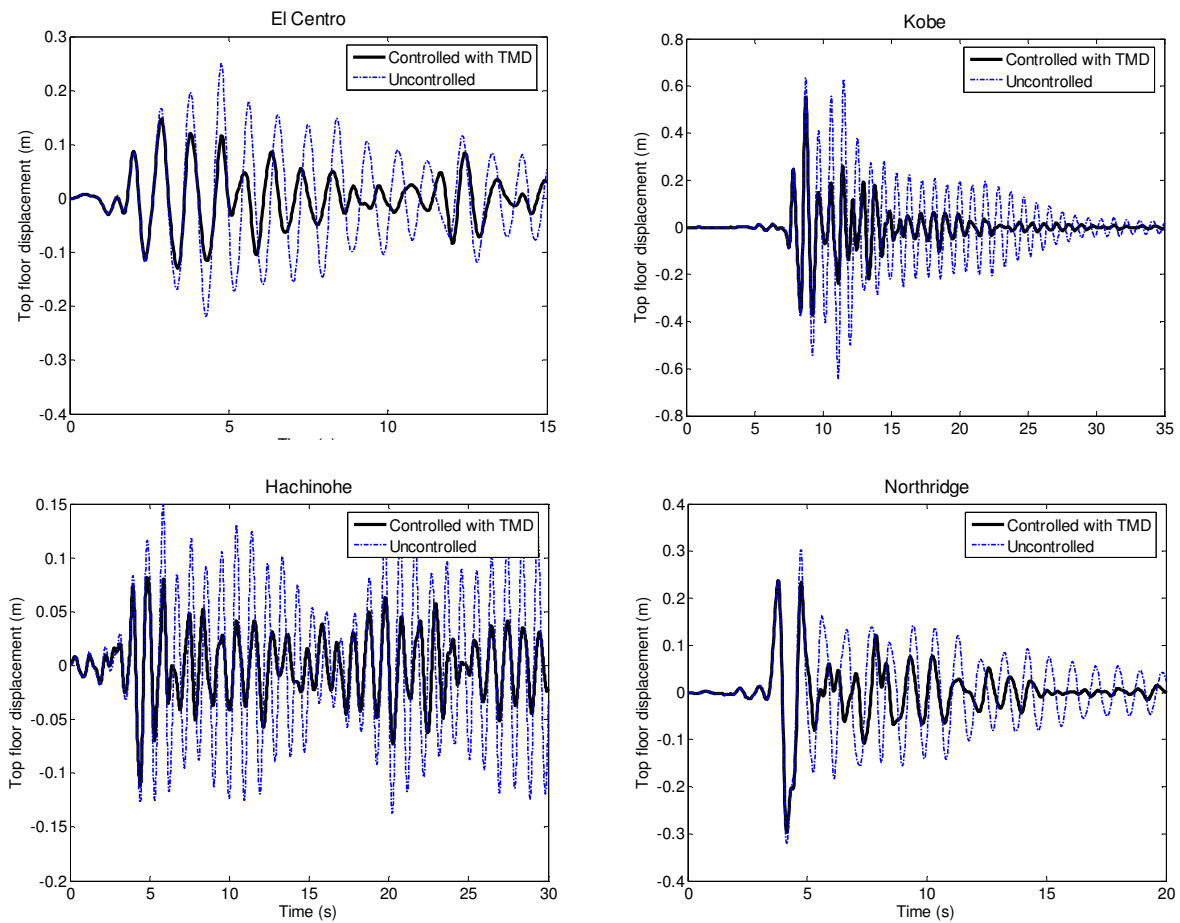
Tabel 1. Perbandingan dengan metoda lain

Parameter	AG-H	Den Hartog (1947)	Warburton (1982)
k_d (kN/m)	4540.4	4593.6	4462.1
c_d (kN-det/m)	175.0	207.14	167.91

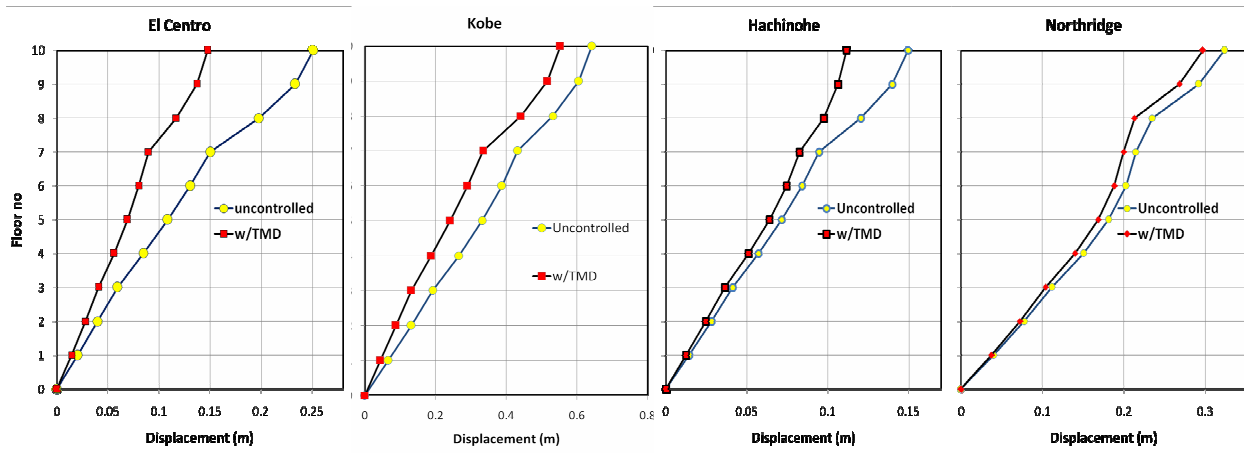
Selanjutnya untuk melihat pengaruh PMS terhadap pengurangan respons, struktur disimulasi terhadap beberapa rekaman gempa yang pernah terjadi yaitu El Centro 1940 NS, Kobe 1995, Hachinohe 1968 dan Northridge 1994 seperti ditunjukkan pada Gambar 11 dan 12 serta Tabel 2.

Tabel 2. Respons maksimum oleh berbagai rekaman gempa

Lantai	El Centro 1940		Kobe 1995		Hachinohe 1968		Northridge 1994	
	tanpa PMS	dengan PMS	tanpa PMS	dengan PMS	tanpa PMS	dengan PMS	tanpa PMS	dengan PMS
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0.020	0.015	0.066	0.043	0.014	0.012	0.040	0.038
2	0.040	0.028	0.131	0.087	0.028	0.025	0.078	0.073
3	0.059	0.041	0.191	0.131	0.041	0.036	0.112	0.104
4	0.084	0.056	0.266	0.187	0.057	0.051	0.150	0.140
5	0.108	0.069	0.331	0.241	0.072	0.064	0.181	0.168
6	0.130	0.080	0.387	0.290	0.084	0.075	0.203	0.188
7	0.150	0.090	0.432	0.334	0.095	0.082	0.215	0.200
8	0.197	0.117	0.531	0.441	0.120	0.097	0.235	0.213
9	0.233	0.137	0.604	0.516	0.140	0.106	0.292	0.268
10	0.251	0.147	0.642	0.552	0.149	0.111	0.323	0.297



Gambar 11. Perpindahan lantai atas oleh berbagai rekaman gempa



Gambar 12. Respons maksimum lantai terhadap berbagai rekaman gempa

4. KESIMPULAN

Dalam tulisan ini telah dibahas algoritma genetik hibrida (AG-H) yang merupakan gabungan algoritma genetik biner (AG-B) dan algoritma genetik riil (AG-R), untuk mengoptimasi letak dan sifat-sifat peredam massa selaras (PMS). Dari proses hitungan yang telah dilakukan tampak bahwa AG-H cukup stabil dan dapat memprediksi letak dan sifat PMS yang optimum, walaupun dengan nilai awal batas atas dan bawah yang berbeda-beda. Hasil optimasi PMS dikerjakan pada struktur untuk menunjukkan pengaruh pengurangan respons struktur akibat berbagai rekaman gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfiadi, Y and Hadi, M. N. S. (2001). "Optimal direct (static) output feedback controller using genetic algorithms." *International Journal of Computer and Structures*, Vol. 79 No. 17, 1625-1634.
- Den Hartog, J. P. (1947). *Mechanical vibrations*. McGraw-Hill Book Company, NY.
- Goldberg, D. E. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Grefenstette, J. J. (1986). "Optimization of control parameters for genetic algorithms." *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 16, No. 1, 122-128.
- Hadi, M. N. S. and Arfiadi, Y. (1998). "Optimum design of absorber for MDOF structures." *Journal of Structural Engineering*, ASCE, Vol. 124, No.11, 1272-1280.
- Herrera 1998, Herrera, F., Lozano, M. and Verdegay, J. L. (1998). "Tackling real-coded genetic algorithms: operators and tools for behavioural analysis." *Artificial Intelligence Review*, Vol. 12, 265-319.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in natural and artificial systems*. MIT Press, Mass.
- Lee, C.L. Chen, Y.T. Chung, LL. and Wang, Y.P. (2006). "Optimal design theories and applications of tuned mass dampers". *Engineering Structures*, 28(1), 43-53
- Michalewicz, Z. (1996). *Genetic algorithms + data structures = evolution programs*. Springer, Berlin.
- Warburton, G. B. (1982). "Optimal absorber parameters for various combinations of response and excitation parameters" *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 10, 381-401.