

GEMPA RENCANA UNTUK ANALISA RIWAYAT WAKTU

Benjamin Lumantarna

Guru Besar Madya, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

Kurniawan Sutanto, Andri Zacharia

Alumni, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra

ABSTRAK

Belum adanya riwayat waktu gempa rencana yang disetujui untuk dipakai di Indonesia, menyebabkan dalam analisa riwayat waktu harus digunakan minimal empat riwayat waktu gempa yang berbeda. Hal ini menyebabkan kesulitan-kesulitan tersendiri dalam melakukan penelitian.

Salah satu pemecahan yang dapat diambil adalah memodifikasi rekaman riwayat waktu gempa yang sesungguhnya untuk menghasilkan suatu gempa rencana yang menghasilkan respons spektra yang konsisten dengan respons spektra yang ditentukan dalam peraturan gempa.

Penelitian ini membandingkan gaya geser tingkat yang dihasilkan oleh gempa rencana yang diperoleh dari rekaman gempa El-Centro 15 Mei 1940 N-S, Denpasar 1981, Pacoima 9 Februari 1971 S16E dan Parkfield 27 Juni 1966 N-E, terhadap envelope gaya geser tingkat ke empat gempa tersebut sesuai dengan peraturan gempa. Untuk perbandingan ini dipakai enam buah model struktur sederhana dengan bentuk denah yang teratur dan simetris, dengan jumlah lantai 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 lantai. Sedangkan untuk mendapatkan gempa rencana digunakan suatu program interaktif yang dinamakan RESMAT

Dari evaluasi yang dilakukan terhadap ke enam model struktur tersebut dapat disimpulkan bahwa gempa rencana yang didapatkan dari modifikasi Gempa Pacoima 9 Februari 1971 S16E, menghasilkan pembagian gaya geser yang setara dengan envelope gaya geser tingkat dari ke empat gempa tersebut diatas.

Kata kunci : analisa riwayat waktu, *accelerogram* gempa rencana, *spectrum consistent time history*.

ABSTRACT

In the absence of design earthquake accelerogram, to do time history analysis the Indonesian Seismic code required the use of a minimum of four earthquake accelerograms. This procedure gives some difficulty in research. One possibility is to use a spectrum consistent time history record in the analysis.

Using an interactive program called RESMAT, four spectrum consistent time histories are created from, El-Centro, May 15, 1940 N-S, Denpasar 1981, Pacoima February 9, 1971 S16E and Parkfield June 27, 1966 N-E, earthquake records. The resulting time history records are applied to six (6) symmetrical buildings with five, ten, 15, 20, 25 and 30 story in a time history analysis. The story shears obtained are then compared with the story shear envelope of the four original earthquake records as specified in the code.

It is shown that spectrum consistent time history obtained from Pacoima, February 9, 1971 S16E, in all cases gives conservative story shears compared with the envelope of the four original earthquake records as specified by the code

Keywords : time history analysis, design earth quake accelegram, spectrum consistent time history.

PENDAHULUAN

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Juni 1999. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Dimensi Teknik Sipil volume 1 nomor 2 September 1999.

Didalam penelitian perilaku suatu struktur terhadap gempa diperlukan suatu gempa rencana yang dapat digunakan untuk melakukan analisa

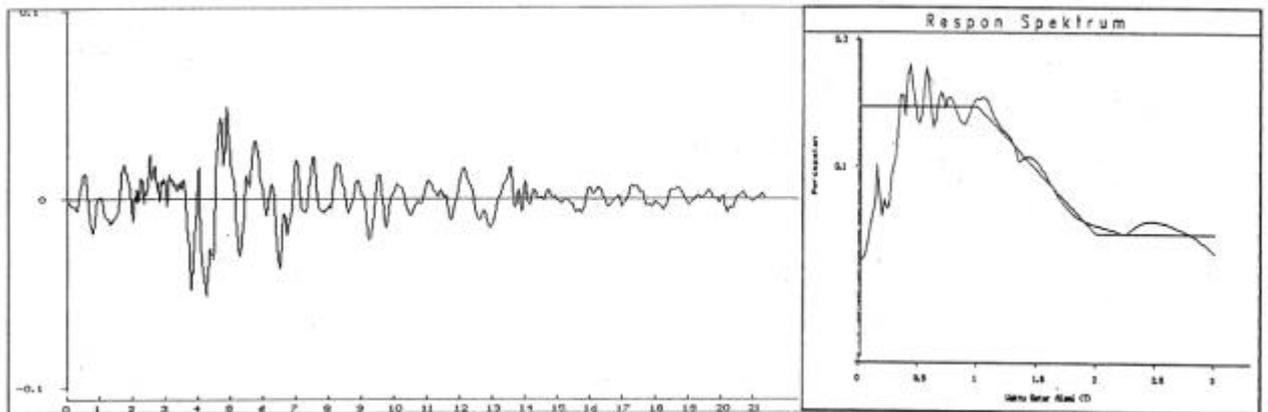
respons riwayat waktu. Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung (peraturan gempa Indonesia)[1] tidak memberikan gempa rencana, tetapi untuk perencanaan, selama belum tersedia hasil pencatatan gempa setempat yang memuaskan yang dapat digunakan untuk mendapatkan pembagian gaya geser tingkat yang representatif, peraturan gempa Indonesia menentukan penggunaan minimal 4 (empat) riwayat waktu gempa yang berbeda. Gaya geser tingkat yang diperoleh dari ke empat rekaman gempa itu kemudian disesuaikan sehingga nilai gaya geser maksimum di tingkat dasar menjadi sama dengan 90 % gaya geser dasar yang didapatkan menurut cara pembebanan statik ekuivalen.

Dalam makalah yang terdahulu [2,3] telah disampaikan suatu program interaktif, RESMAT, yang dapat digunakan untuk memodifikasi rekaman riwayat waktu gempa yang sesungguhnya sehingga menghasilkan suatu gempa rencana yang menghasilkan respons spektra yang konsisten dengan respons spektra yang telah ditentukan.

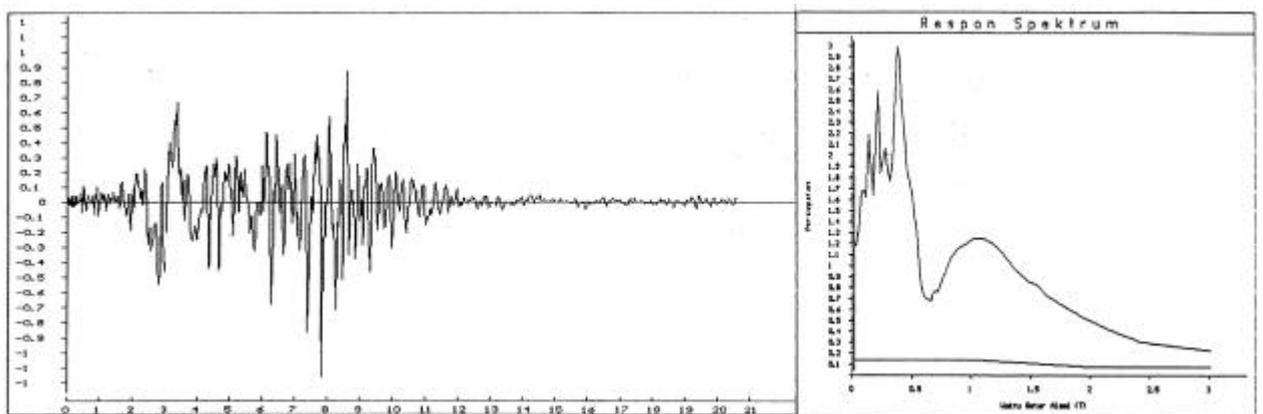
Centro 15 Mei 1940 N-S, Denpasar 1981, Pacoima 9 Februari 1971 S16E dan Parkfield 27 Juni 1966 N-E. Gaya geser tingkat yang dihasilkan oleh gempa rencana ini terhadap 6 (enam) buah struktur sederhana dengan bentuk denah yang teratur dan simetris di wilayah gempa I, dengan jumlah lantai 5, 10, 15, 20, 25 dan 30 lantai, dibandingkan dengan envelope gaya geser tingkat yang dihasilkan oleh ke empat gempa tersebut setelah disesuaikan dengan nilai gaya geser maksimum di tingkat dasar sesuai dengan peraturan gempa Indonesia.

GEMPA RENCANA DAN RESPONS SPEKTRUM YANG DIHASILKAN

Rekaman gempa rencana yang dihasilkan oleh program RESMAT dengan memodifikasi gempa Pacoima 9 Februari 1971 S16E (gempa Pacoima modifikasi) beserta respons spektrum percepatannya ditunjukkan dalam gambar 1, sedangkan rekaman gempa Pacoima 9 Februari 1971 S16E yang asli beserta respons spektrum percepatannya ditunjukkan dalam gambar 2.



Dalam penelitian ini dibuat 4 (empat) buah gempa rencana dengan menggunakan rekaman gempa El-
Gambar 1. Rekaman Gempa Pacoima Modifikasi beserta Respons Spektrumnya



Gambar 2: Rekaman Gempa Pacoima 9 Februari 1971 S16E beserta Respons Spektrumnya

BANGUNAN YANG DITINJAU DAN HASIL PERHITUNGAN

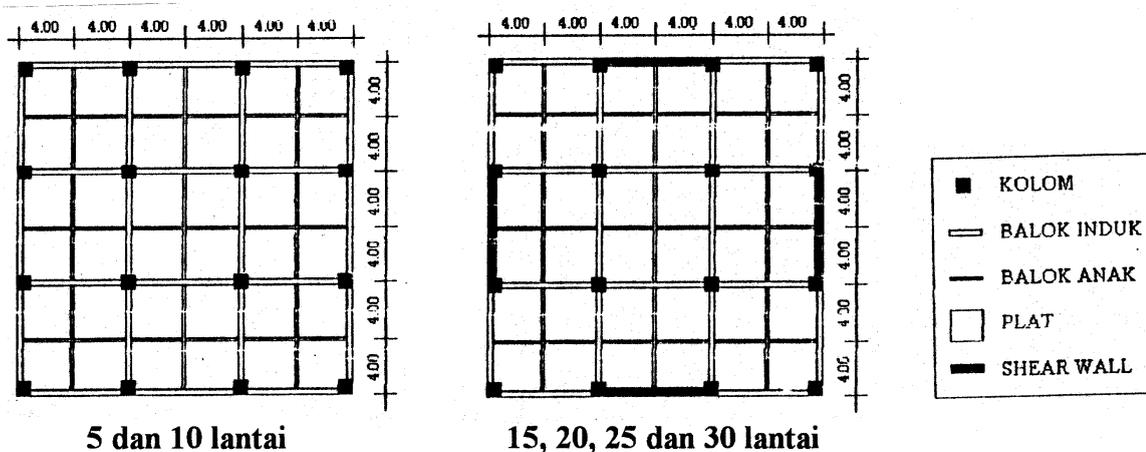
Denah struktur berlantai 5 dan 10 serta denah struktur berlantai 15, 20, 25 dan 30 ditunjukkan dalam gambar 3. Ukuran balok, kolom dan dinding geser ditunjukkan dalam tabel 1.

Pada setiap struktur yang ditinjau dilakukan analisa riwayat waktu dengan pembebanan gempa yang sesungguhnya dan gempa rencana yang didapat dari modifikasi gempa yang bersangkutan. Dengan demikian setiap struktur yang ditinjau dibebani dengan 8 macam gempa, yaitu 4 gempa yang sebenarnya dan 4 gempa rencana. Perhitungan analisa riwayat waktu dilakukan dengan menggunakan program paket ETABS [4]. Gaya geser rencana diperoleh dari penjumlahan gaya inersia maksimum yang didapatkan untuk masing-masing lantai. Hasil perhitungan tipikal ditunjukkan dalam bentuk perbandingan gaya geser tingkat dalam gambar 4 sampai dengan gambar 9.

Gambar 4 dan 5, berturut-turut menunjukkan gaya geser tingkat yang terjadi akibat gempa El-

Centro 15 Mei 1940 N-S, Denpasar 1981, Pacoima 9 Februari 1971 S16E dan Parkfield 27 Juni 1966 N-E. dan gempa rencana yang didapatkan dari modifikasi gempa-gempa ini setelah disesuaikan dengan nilai gaya geser maksimum di tingkat dasar sesuai dengan peraturan gempa Indonesia, beserta envelope dari keempat gaya geser tingkat yang terjadi untuk struktur berlantai 10. Gambar 6 menunjukkan perbandingan gaya geser tingkat yang terjadi akibat gempa rencana yang didapatkan dari modifikasi gempa-gempa tersebut diatas beserta envelope nya dibandingkan dengan envelope dari gaya geser tingkat gempa yang sebenarnya. Gambar 7, 8 dan 9 adalah perbandingan gaya geser tingkat gempa sebenarnya dengan gempa rencana untuk struktur berlantai 30. Hasil perhitungan selengkapnya dapat dilihat dalam pustaka [5].

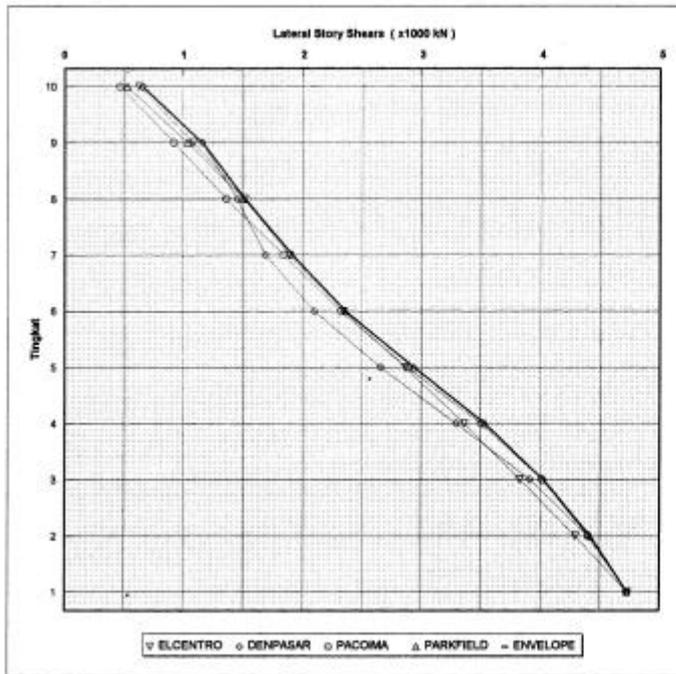
Tabel 2 menunjukkan faktor pengali yang diperlukan agar gaya geser dasar yang terjadi akibat gempa rencana sama dengan 90 % dari gaya geser dasar yang diperoleh dengan cara pembebanan statik ekuivalen.



Gambar 3. Denah Struktur yang ditinjau

Tabel 1.: Ukuran Balok, Kolom dan Dinding Geser

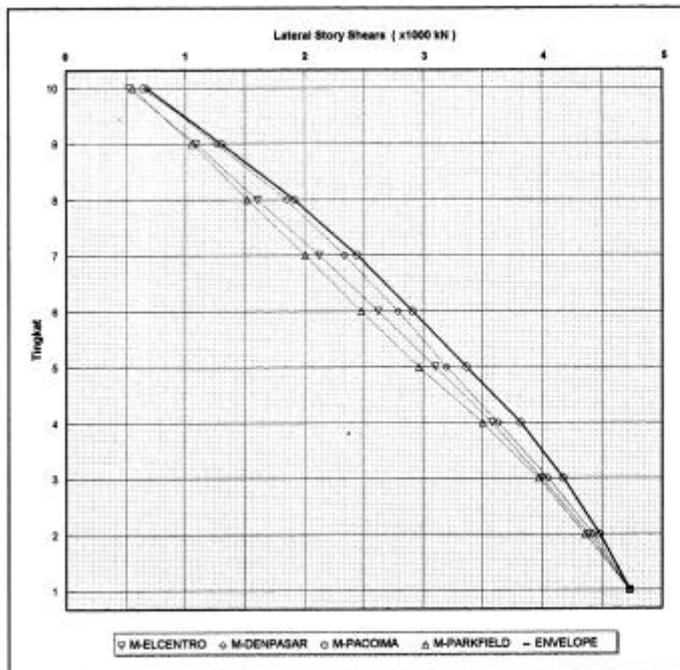
Lantai	5	10	15	20	25	30
Kolom	70x70	100x100	100x100	110x110	120x120	120x120
Balok Induk	40x70	40x70	40x70	40x70	40x70	40x80
Balok Anak	30x50	30x50	30x50	30x50	30x50	30x60
Dinding Geser	--	--	50	50	50	60
Periode	0.85	1.60	1.36	2.06	2.16	2.30



Envelope gaya geser tingkat struktur bangunan 10 lantai akibat gempa sesungguhnya

Tingkat	ELCENTRO (KN)	DENPASAR (KN)	PACOMA (KN)	PARKFIELD (KN)	ENVELOPE (KN)
10	627.53	857.80	488.84	527.50	857.80
9	1082.32	1156.41	823.94	1036.30	1156.41
8	1512.68	1448.78	1358.25	1501.61	1512.68
7	1884.70	1682.29	1836.13	1907.90	1907.90
6	2344.17	2064.31	2317.18	2358.78	2358.78
5	2866.47	2658.22	2882.84	2941.42	2941.42
4	3361.19	3295.70	3501.35	3536.71	3536.71
3	3825.83	3909.89	4015.80	4020.85	4020.85
2	4293.37	4401.44	4400.89	4418.20	4418.20
1	4728.85	4728.95	4728.95	4728.85	4728.85

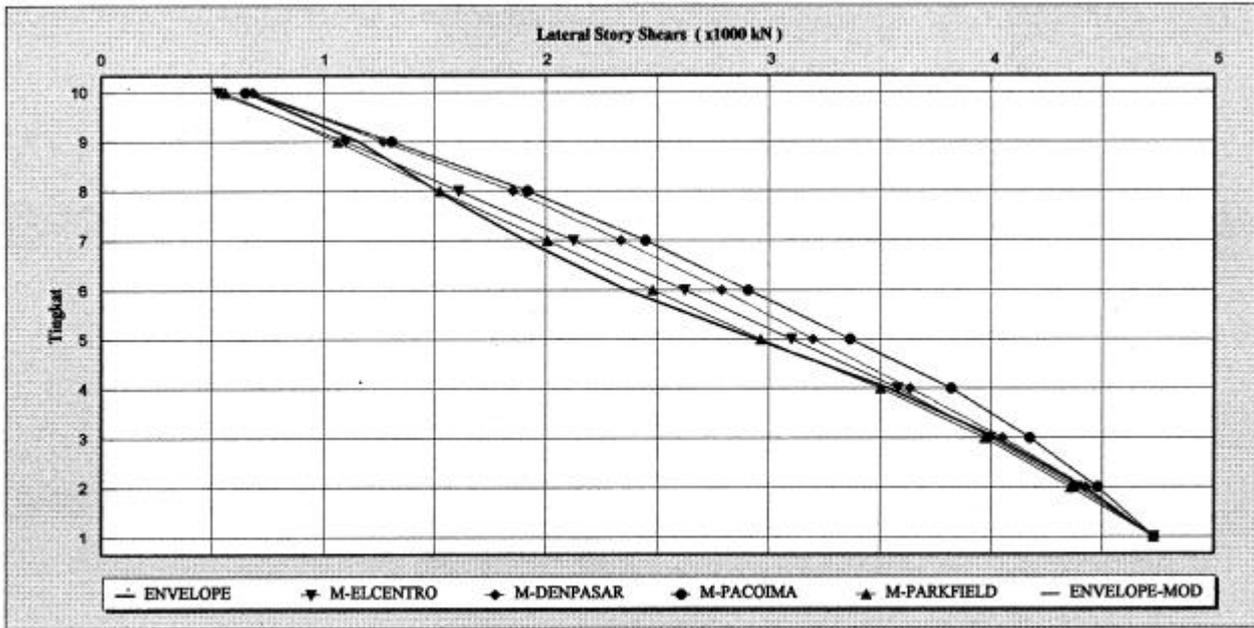
Gambar 4. Gaya Geser Tingkat Struktur 10 Lantai akibat Beban Gempa Sesungguhnya



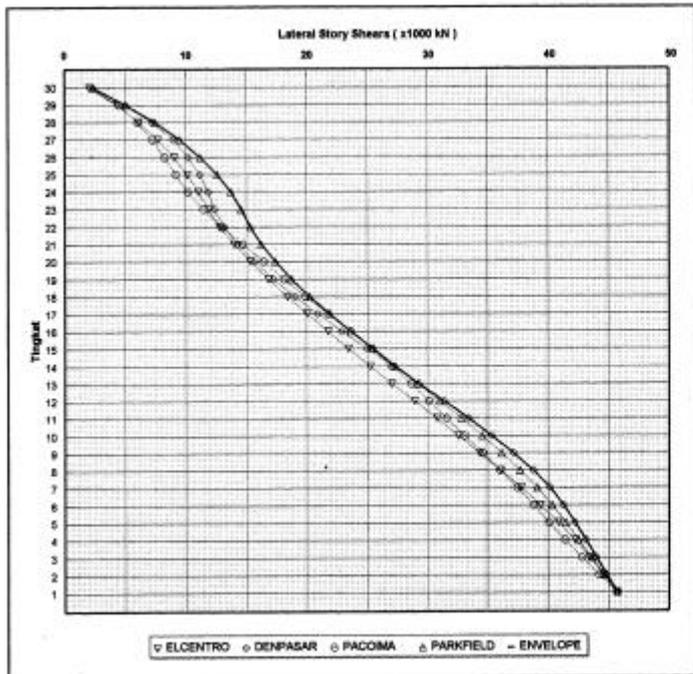
Envelope gaya geser tingkat struktur bangunan 10 lantai akibat gempa modifikasi

Tingkat	ELCENTRO modifikasi (KN)	DENPASAR modifikasi (KN)	PACOMA modifikasi (KN)	PARKFIELD modifikasi (KN)	ENVELOPE modifikasi (KN)
10	527.56	681.11	649.49	560.48	681.11
9	1096.79	1267.70	1305.76	1061.25	1305.76
8	1608.50	1852.28	1919.49	1524.00	1852.28
7	2123.59	2333.91	2444.10	2007.14	2444.10
6	2620.93	2787.16	2906.40	2477.43	2787.16
5	3101.83	3197.12	3365.43	2963.62	3197.12
4	3579.02	3633.49	3820.04	3501.77	3633.49
3	3997.82	4050.87	4176.59	3970.68	4050.87
2	4390.19	4427.74	4479.12	4360.60	4427.74
1	4728.95	4728.95	4728.95	4728.95	4728.95

Gambar 5. Gaya Geser Tingkat Struktur 10 Lantai akibat Beban Gempa Rencana



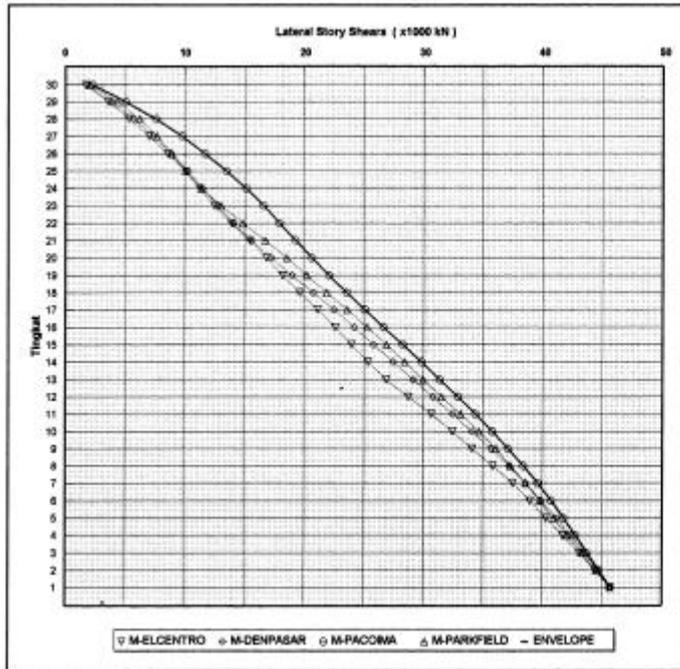
Gambar 6. Gaya Geser Tingkat Struktur 10 Lantai Berserta Envelope nya Akibat Beban Gempa Rencana, Dibandingkan Dengan Envelope Gaya Geser Tingkat Akibat Beban Gempa Sesungguhnya.



Envelope gaya geser tingkat struktur bangunan 30 lantai akibat gempa sesungguhnya

Tingkat	ELCENTRO (KN)	DENPASAR (KN)	PACOIMA (KN)	PARKFIELD (KN)	ENVELOPE (KN)
30	2041.83	2344.68	2202.12	2291.12	2344.68
29	4349.35	5050.32	4494.93	5060.47	5060.47
28	6164.01	7251.57	6053.23	7468.67	7468.67
27	7702.14	8942.47	7250.08	9508.78	9508.78
26	9037.34	10198.72	8254.35	11192.32	11192.32
25	10136.53	11158.26	9179.95	12583.88	12583.88
24	11058.73	11848.77	10170.37	13706.17	13706.17
23	11881.20	12393.51	11449.25	14562.75	14562.75
22	12817.13	13163.56	12994.87	15298.48	15298.48
21	13968.60	14276.29	14684.26	16242.41	16242.41
20	15346.73	15664.61	16446.45	17401.47	17401.47
19	16858.99	17277.97	18146.29	18752.38	18752.38
18	18415.34	19049.88	19929.68	20268.52	20268.52
17	20076.20	20940.81	21804.83	21919.16	21919.16
16	21767.95	22914.35	23628.34	23671.52	23671.52
15	23457.38	25000.61	25394.63	25491.26	25491.26
14	25276.02	27164.43	27071.75	27345.79	27345.79
13	27067.77	29330.66	28648.31	29206.13	29330.66
12	28955.28	31434.48	30157.30	31045.77	31434.48
11	30841.89	33431.28	31631.50	32838.48	33431.28
10	32582.59	35351.02	33104.60	34558.36	35351.02
9	34356.24	37144.93	34570.90	36179.97	37144.93
8	36092.59	38757.72	36022.27	37689.83	38757.72
7	37775.16	40139.46	37453.86	39080.02	40139.46
6	39377.94	41259.44	38812.45	40333.51	41259.44
5	40885.87	42219.08	40078.82	41432.69	42219.08
4	42248.93	43125.80	41385.21	42533.77	43125.80
3	43473.54	43982.57	42812.49	43606.89	43982.57
2	44606.09	44806.41	44178.32	44665.76	44806.41
1	45694.03	45694.03	45694.03	45694.03	45694.03

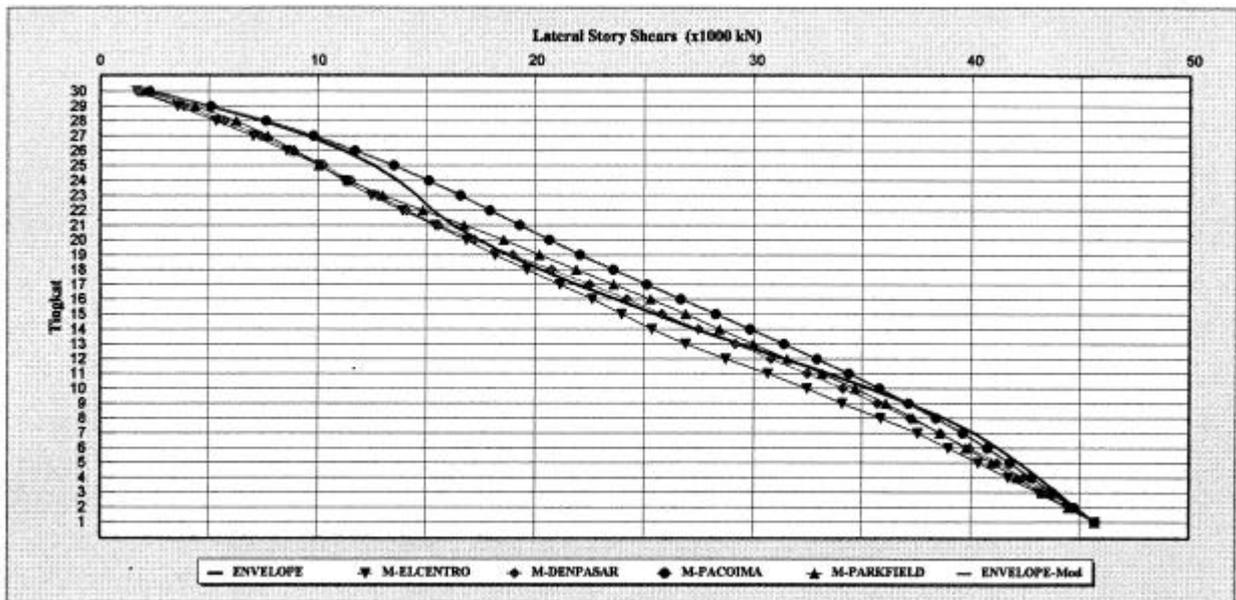
Gambar 7. Gaya Geser Tingkat Struktur 30 Lantai akibat Beban Gempa Sesungguhnya



Envelope gaya geser tingkat struktur bangunan 30 lantai akibat gempa modifikasi

Tingkat	ELCENTRO modifikasi (kN)	DENPASAR modifikasi (kN)	PACOIMA modifikasi (kN)	PARKFIELD modifikasi (kN)	ENVELOPE modifikasi (kN)
30	1686.64	1738.73	2283.07	2030.07	2283.07
29	3583.14	3849.10	5091.65	4353.32	5091.65
28	5342.30	5690.11	7591.36	6242.53	7591.36
27	7033.86	7360.84	9776.79	7697.16	9776.79
26	8563.76	8890.85	11713.41	8915.14	11713.41
25	10076.67	10267.47	13494.07	10038.78	13494.07
24	11232.08	11525.21	15111.89	11379.56	15111.89
23	12478.15	12769.65	16559.87	13001.80	16559.87
22	13906.98	14084.68	17927.60	14841.06	17927.60
21	15417.94	15557.92	19282.04	16739.91	19282.04
20	16833.78	17216.92	20643.10	18557.71	20643.10
19	18180.37	18973.83	22069.85	20214.38	22069.85
18	19638.52	20756.43	23560.85	21881.71	23560.85
17	21161.19	22506.62	25107.85	23590.25	25107.85
16	22631.74	24194.41	26681.23	25290.55	26681.23
15	23963.57	25809.17	28261.73	26897.03	28261.73
14	25342.45	27475.66	29835.33	28429.07	29835.33
13	26876.06	29151.09	31300.13	29976.99	31300.13
12	28706.89	30792.33	32909.23	31545.13	32909.23
11	30656.12	32461.69	34378.42	33149.32	34378.42
10	32447.18	34105.01	35778.33	34693.92	35778.33
9	34079.78	35697.22	37111.11	36096.63	37111.11
8	35846.38	37201.39	38390.69	37348.86	38390.69
7	37545.88	38582.07	39604.75	38577.80	39604.75
6	38952.75	39919.46	40744.88	39771.81	40744.88
5	40320.82	41198.78	41799.23	40940.55	41799.23
4	41724.76	42416.75	42780.75	42112.31	42780.75
3	43126.11	43568.08	43767.21	43300.83	43767.21
2	44436.82	44655.81	44729.74	44483.56	44729.74
1	45694.03	45694.03	45694.03	45694.03	45694.03

Gambar 8. Gaya Geser Tingkat Struktur 30 Lantai akibat Beban Gempa Rencana



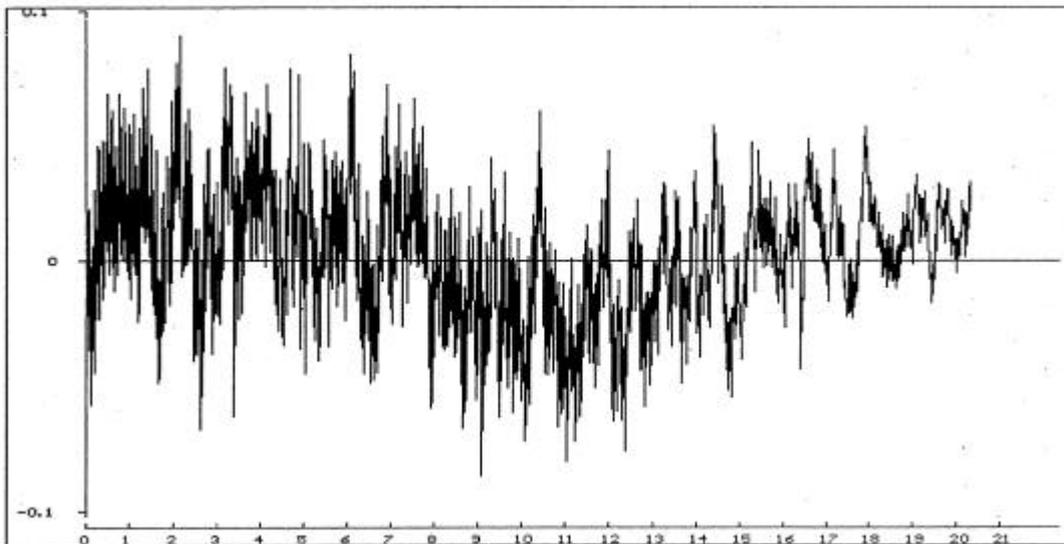
Gambar 9. Gaya Geser Tingkat Struktur 30 Lantai Berserta Envelope nya Akibat Beban Gempa Rencana, Dibandingkan Dengan EnvelopeGaya Geser Tingkat Akibat Beban Gempa Sesungguhnya.

Tabel 2.: Faktor Pengali Gaya Geser Dasar

Tingkat Periode	5	10	15	20	25	30
	0.85	1.60	1.36	2.06	2.16	2.30
El-Centro Modifikasi.	0.88	0.81	0.80	0.51	0.50	0.56
Denpasar Modifikasi	0.91	0.78	0.79	0.59	0.56	0.58
Pacoima Modifikasi	1.07	0.83	0.97	0.63	0.62	0.71
Parkfield Modifikasi	0.81	0.69	0.73	0.52	0.53	0.51

DISKUSI DAN KESIMPULAN

Pada umumnya gempa rencana yang digunakan menunjukkan hasil gaya geser tingkat yang sangat mendekati envelope dari gaya geser tingkat yang didapatkan dari gempa yang sebenarnya, meskipun masih diperlukan faktor pengali untuk menyesuaikan gaya geser dasar. Hasil perbandingan gaya geser juga menunjukkan dari semua bangunan yang ditinjau, gempa rencana Pacoima Modifikasi merupakan envelope dari keempat gempa rencana yang didapatkan dengan menggunakan program RESMAT (gambar 5 dan 8). Demikian pula terlihat bahwa gempa rencana Pacoima Modifikasi memberikan hasil yang selalu lebih besar dari envelope gaya geser tingkat yang terjadi akibat gempa sebenarnya (gambar 6 dan 9).



Gambar 10. Rekaman Gempa El Centro Modifikasi.

Meskipun gempa rencana El-Centro Modifikasi menunjukkan hasil gaya geser tingkat yang tidak terlalu berbeda jauh dengan gaya geser rencana yang lain, Rekaman gempa rencana yang diperoleh dari modifikasi gempa El-Centro 15 Mei 1940 N-S (gambar 10.) menunjukkan perubahan percepatan gempa yang sangat ekstrim sehingga perlu diragukan validitasnya.

Memperhatikan hasil perhitungan dan perbandingan yang ditunjukkan, dapat disimpulkan:

1. Untuk struktur yang ditinjau, gempa Pacoima Modifikasi menunjukkan kemungkinan yang terbaik untuk dipakai sebagai gempa rencana di Indonesia.
2. Untuk lebih meyakinkan kesimpulan ini perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan melakukan modifikasi yang lebih teliti sehingga dapat diperoleh respons spektrum yang lebih sesuai dengan design spektrum yang diberikan.

3. Kesimpulan dalam butir pertama masih perlu diuji lebih lanjut dengan menggunakan struktur yang tidak sederhana.

DAFTAR PUSTAKA

1. Departemen Pekerjaan Umum. *Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Rumah dan Gedung 1983*. Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Jakarta, 1983.
2. Lukito, Martin Angelo, *Program Untuk Membuat Accelerogram Gempa Yang Disesuaikan Dengan Respon Spektrum Tertentu*, Skripsi/Tugas Akhir no. 636.S, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil,

Universitas Kristen Petra, Surabaya, 1995.

3. Lumantarna, Benjamin dan Martin Angelo Lukito, *Resmat, An Interactive Program to Create Spectrum-Consistent Time History*, Proceedings, HAKI International Conference, Jakarta, 1997
4. Habibullah, Ashraf, *ETABS, Users Manual Version 6.13*, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA, 1996.
5. Sutanto, Kurniawan, dan Andri Zacharia, *Evaluasi "Gempa Rencana" yang Dihasilkan Program RESMAT untuk Analisa Respons Riwayat Waktu*, Skripsi/Tugas Akhir Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra, Surabaya, 1997.