

EFFECTIVENESS TO ADDITIONAL COST ON THE IMPLEMENTATION OF SEISMIC RESISTANCE FEATURES FOR RESIDENTIAL HOUSES

KEEFEKTIFAN PENAMBAHAN BIAYA PADA PENERAPAN FITUR-FITUR TAHAN GEMPA UNTUK RUMAH TINGGAL

Setya Winarno¹⁾

¹⁾Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, Indonesia
e-mail: winarno@uii.ac.id

ABSTRACT

Many residential houses in Indonesia have been collapsed during earthquake because they do not implement seismic features correctly. Although the implementation of seismic features will add construction cost, people need to better understand about the benefit which is acquired through this additional cost. This paper presents the effectiveness of additional cost for the implementation of seismic features for residential house using benefit-cost ratio method. There were 10 existing houses in Sleman District as samples which had seismic features. To achieve an easy measurement of the benefit, the existing houses were also assumed to be unreal or virtual houses which did not have seismic features. The benefit was measured by the difference of damage cost, if an earthquake happened, between the seismic featured existing houses and the non-seismic featured virtual houses. Damage cost was expressed as percentage damage multiplied by collapsed house replacement cost. Damage percentage is comprised by damage state which was done by subjective judgment to four earthquake experts who had got actively involved in disaster management in Yogyakarta 2006's earthquake and damage ratio presented in FEMA. House replacement cost followed the current Yogyakarta cost standard. Additional cost has been accomplished by the cost of seismic features which included cost of tie beam, column, lintel beam, and ring beam. The findings have shown that the average benefit-cost ratios on earthquake scenarios on year-0, year-10, year-20, year-30, year-40, and year-50 are 14.63; 17.47; 20.87; 27.27; 37.35; and 52.90 respectively. This finding depicts that the additional cost is truly effective to reduce the damage which is expressed by regression equation $Y = 13.53 \cdot 1.026^x$ which indicates that benefit-cost ratio (y-axis) will increase exponentially whenever the span of time for occurring earthquake (x-axis) is longer.

Keywords: earthquake, residential houses, house seismic features, benefit-cost ratio

ABSTRAK

Banyak rumah-rumah tinggal di Indonesia yang roboh akibat gempa karena tidak menerapkan fitur-fitur struktur tahan gempa dengan benar. Meskipun penerapan fitur-fitur struktur tahan gempa akan menambah biaya pembangunan rumah, masyarakat perlu diberi pemahaman yang baik tentang besarnya manfaat yang dapat dipetik dari penambahan biaya tersebut. Paper ini menyajikan nilai keefektifan terhadap tambahan biaya pada penerapan fitur-fitur struktur tahan gempa pada rumah tinggal menggunakan metode manfaat-biaya. Terdapat 10 rumah eksisting di Kabupaten Sleman sebagai rumah sampel yang sudah menerapkan fitur-fitur struktur tahan gempa. Untuk mempermudah pengukuran nilai manfaatnya, rumah-rumah tersebut juga kemudian diasumsikan menjadi rumah virtual atau tidak nyata (diasumsikan) yang tidak menggunakan struktur tahan gempa. Nilai manfaat dihitung dengan selisih nilai kerugian, apabila terjadi gempa, antara rumah dengan fitur tahan gempa (eksisting) dan rumah tidak nyata (virtual) yang tidak menerapkan fitur struktur tahan gempa. Penilaian kerugian dinyatakan dengan perkalian antara persentase kerugian dengan biaya penggantian rumah tersebut jika roboh. Persentase kerugian terdiri dari tingkat kerusakan yang diperoleh dari penilaian subyektif empat orang ahli kegempaan yang terlibat secara aktif dalam penanganan gempa tahun 2006 di Yogyakarta dan rasio kerusakan yang mengacu ke FEMA. Biaya penggantian rumah mengikuti standar biaya di Yogyakarta. Nilai tambahan biaya dihitung dengan biaya fitur-fitur struktur tahan gempa yang meliputi sloop, kolom, balok latei, dan balok ring. Temuan yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai rasio manfaat dan biaya rata-rata apabila terjadi gempa rencana pada scenario gempa tahun ke_0, ke_10, ke_20, ke_30, ke_40, atau ke_50 berturut-turut adalah 14,63; 17,47; 20,87; 27,27; 37,35 dan 52,90. Temuan ini menggambarkan bahwa tambahan biaya adalah benar-benar efektif untuk mengurangi biaya kerusakan, seperti yang diungkapkan dengan persamaan regresi $Y = 13,53 \cdot 1,026^x$, yang mengindikasikan bahwa rasio manfaat-biaya (sumbu-y) akan bergerak naik secara eksponensial ketika rentang waktu kejadian gempa (sumbu-x) semakin lama.

Kata-kata kunci: gempa, rumah tinggal, fitur struktur tahan gempa, rasio manfaat-biaya

PENDAHULUAN

Gempa di Indonesia akhir-akhir ini telah menelan banyak korban jiwa dan kerusakan serta kerugian pada sektor rumah tinggal mencapai 52,4% dari keseluruhan kerusakan dan kerugian (Bappenas, 2006). Kerusakan rumah tinggal ini terutama disebabkan karena ketiadaan penerapan fitur-fitur rumah tahan gempa dengan benar. Rumah-rumah tersebut mayoritas adalah rumah berstruktur tembok dengan kolom pilaster, tanpa perkuatan beton bertulang.

Untuk mencegah kerusakan rumah akibat gempa maka sudah seharusnya (kondisi ideal) rumah tinggal yang berada di daerah rawan gempa perlu dilengkapi dengan fitur-fitur struktur tahan gempa. Fitur-fitur struktur tahan gempa pada rumah tembok-

an terutama adalah adanya perkuatan berupa sloop, kolom, balok latei, dan balok ring yang harus menyatu menjadi satu kesatuan. Selain itu sambungan antara bagian-bagian tersebut harus baik, sehingga kesatuan struktur akan terbentuk. Bila bahan beton, tembok dan tulangan berkualitas dan saling menyatu dengan baik maka akan membentuk struktur yang kuat. Struktur yang kuat sangat diperlukan agar rumah atau bangunan mampu menahan guncangan tanah akibat gempa (Widodo, 2007).

Winarno (2010) telah menekankan bahwa di Indonesia perlu sekali diadakan penelitian-penelitian tentang efektivitas biaya pada penerapan fitur-fitur tahan gempa untuk rumah tinggal. Sangat minimnya pengetahuan masyarakat dan keterbatasan biaya menyebabkan masih banyaknya rumah dibangun apa adanya. Akibatnya jika terjadi gempa secara tiba-tiba rumah sering mengalami kerusakan yang parah dan menyebabkan kerugian yang b-

esar bahkan juga kehilangan nyawa. Untuk itu, di masa mendatang masyarakat hendaknya diberikan wawasan yang luas agar dalam pembangunan rumah hendaknya meneRAPkan fitur-fitur tahan gempa (Edwards, 2011).

Rumah yang tidak tahan gempa terutama disebabkan karena ketiadaan fitur-fitur struktur tahan gempa, sehingga pemilik rumah yang meneRAPkan fitur-fitur tahan gempa tidak dapat menghindari adanya penambahan biaya untuk struktur perkuatan. Implikasi penambahan biaya ketika membangun rumah tahan gempa adalah bahwa akan terjadi pengurangan kerusakan apabila terjadi gempa.

Dari uraian di atas dapat dirangkum sebuah fakta bahwa ada tambahan biaya pada pekerjaan struktur untuk peneRAPAN fitur-fitur tahan gempa pada rumah tinggal. Untuk itu masyarakat perlu diberi informasi tentang keefektifan biaya pada peneRAPAN fitur-fitur tahan gempa yang dapat menumbuhkan rasa percaya diri masyarakat. Paper ini bertujuan untuk menguraikan keefektifan biaya perkuatan pada peneRAPAN fitur-fitur struktur tahan gempa pada rumah tinggal menggunakan analisis rasio manfaat-biaya (*benefit-cost ratio*), sehingga hasil kajian ini dapat dipakai sebagai bahan diseminasi yang rasional untuk masyarakat pada umumnya. PeneRAPAN fitur-fitur struktur tahan gempa dikatakan efektif apabila nilai rasio manfaat-biaya lebih besar dari 1,00.

Rumah Tahan Gempa dan Tambahan Biaya Elemen Strukturnya

Perancangan bangunan tahan gempa (termasuk bangunan rumah) berangkat dari falsafah (Widodo, 2007) yang memenuhi prinsip-prinsip sebagai berikut.

- Bila terjadi gempa ringan, bangunan tidak mengalami kerusakan.
- Bila terjadi gempa sedang, bangunan teknik boleh mengalami kerusakan pada elemen non struktur, tetapi tidak boleh rusak pada fitur-fitur strukturnya sedangkan bangunan sederhana boleh mengalami kerusakan temboknya. Kerusakan yang terjadi masih dapat diperbaiki.
- Bila terjadi gempa besar, bangunan tetap tidak boleh runtuh, sedangkan bangunan sederhana boleh mengalami kerusakan tembok dan perkuatan praktisnya dan tidak boleh roboh.

Secara umum, bangunan yang tahan gempa adalah bangunan yang bersifat daktail (liat), yang berarti adanya kesanggupan bangunan untuk mengalami perubahan bentuk akan tetapi masih dapat menerima beban. Kebalikan dari bangunan daktail adalah bangunan getas. Bangunan yang getas sangat tidak tahan terhadap guncangan gempa.

Sehubungan dengan adanya peneRAPAN fitur-fitur struktur tahan gempa pada rumah tinggal tembokan, maka perlu adanya tambahan biaya secara khusus yang digunakan untuk biaya per-

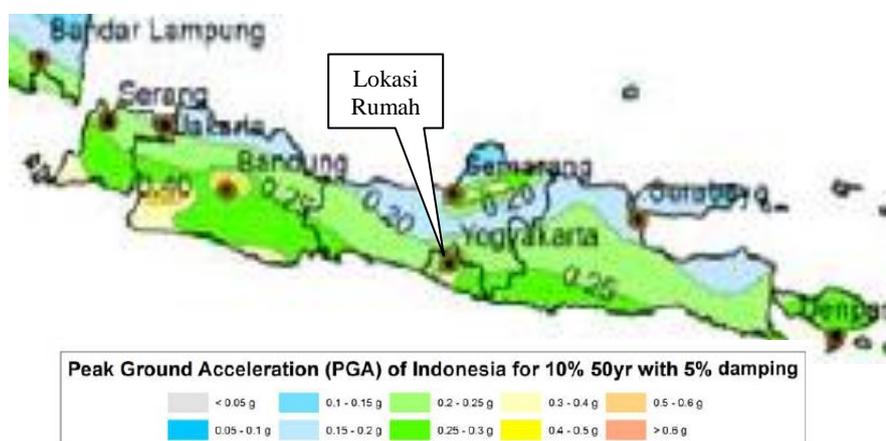
kuatan struktur beton bertulang. Biaya tersebut antara lain untuk pembiayaan beton pada sloof, kolom, balok latei, dan balok ring. Salah satu contoh adalah sebuah bangunan sekolah di daerah Los Angeles. Luas bangunan sekolah tersebut adalah 50.000 meter persegi dengan biaya \$ 60 per meter persegi. Biaya tersebut dengan perincian yaitu 25% untuk biaya struktur bangunan dan pondasi, 21% untuk biaya pekerjaan sanitasi, 13% untuk biaya pekerjaan listrik, dan 8% untuk biaya upah pekerja. Dari biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan sekolah tersebut biaya untuk struktur perkuatan tahan gempa adalah sebesar 5% dari biaya struktur bangunan dan 1% dari keseluruhan biaya pembangunan sekolah tersebut (FEMA, 2005).

Rumah tinggal yang tidak tahan gempa mengalami kerusakan yang lebih besar dari pada rumah tahan gempa, sehingga biaya kerusakannya pun juga lebih besar. Dengan demikian terdapat selisih biaya kerusakan antara yang tidak meneRAPkan elemen tahan gempa dengan yang meneRAPkannya. Selisih ini adalah manfaat dari peneRAPAN fitur-fitur tahan gempa tersebut. Karena peneRAPAN elemen tahan gempa memerlukan biaya, maka perlu diukur keefektifan biaya tersebut terhadap manfaatnya.

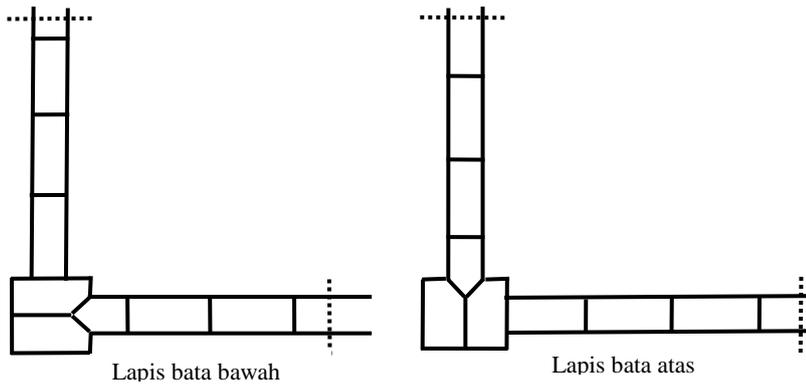
METODE PENELITIAN

Terdapat dua komponen pokok dalam analisis manfaat-biaya, yaitu perhitungan manfaat dan pengukuran biayanya. Perhitungan manfaat diperoleh dari selisih biaya kerusakan rumah tembokan akibat adanya gempa antara rumah tidak diperkuat dengan rumah yang diperkuat struktur tahan gempa. Sedangkan biayanya dihitung dari biaya perkuatan struktur yang meliputi biaya pekerjaan sloof, kolom, balok latei, dan balok ring.

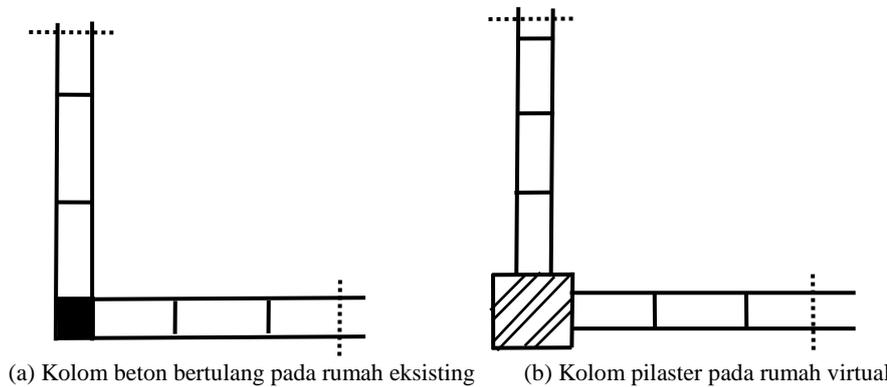
Sepuluh rumah 1-lantai tembokan ½ batu bata berbentuk persegi panjang sederhana di Kabupaten Sleman dipilih untuk dijadikan sampel dalam penelitian ini. Rumah-rumah tersebut berdekatan dan terletak di Peta Gempa tahun 2010 (Tim Revisi Peta Gempa, 2010) dengan PGA di batuan dasar 0,2 g – 0,25 g (lihat Gambar 1) dan memiliki jenis lapis tanah permukaan yang sama (<http://portal.jogjaprovo.go.id>). Karena rumah-rumah tersebut secara nyata sudah meneRAPkan fitur-fitur struktur tahan gempa, maka penilaian kerusakan rumah tinggal tanpa perkuatan tahan gempa dilakukan dengan melakukan asumsi bahwa rumah-rumah tersebut secara virtual juga tidak meneRAPkan struktur tahan gempa tetapi hanya menggunakan kolom pilaster (1 batu bata) di seti-ap pojok rumah dan tumpuan kuda-kuda (lihat Gambar 2). Dengan demikian, selisih biaya kerusakan antara rumah yang tidak meneRAPkan konsep tahan gempa (rumah virtual) dengan yang meneRAPkan (rumah eksisting), pada rumah yang sama dapat di-hitung dengan mudah.



Gambar 1. Lokasi sampel 10 rumah di Kabupaten Sleman berdasarkan Peta Gempa 2010



Gambar 2. Kolom pilaster pada rumah tembok bata yang tidak kuat menahan beban gempa



Gambar 3. Kolom beton pada rumah eksisting dan kolom pilaster pada rumah virtual

Tabel 1. Hubungan antara tingkat kerusakan dan nilai ekonomi kerugian akibat gempa (FEMA, 1999)

No	Tingkat kerusakan	Nilai ekonomi kerugian terhadap total nilai bangunan
1	Slight	2%
2	Moderate	10%
3	Extensive	50%
4	Complete	100%

Perhitungan nilai rumah dilakukan dengan estimasi sesuai dengan Pedoman Harga Satuan Rumah untuk per m² di Provinsi DIY tahun 2011. Perhitungan biaya perkuatan betonnya menggunakan metode harga satuan per m³ beton sesuai dengan harga standar di Provinsi DIY juga (Bappeda, 2011). Peningkatan nilai bangunan sesuai dengan skenario apabila terjadi gempa pada tahun ke_0, ke_10, ke_20, ke_30, ke_40 dan ke_50 diasumsikan meningkat sesuai dengan tingkat inflasi. Biaya perawatan adalah sebesar 2% per tahun dari nilai rumah sesuai peraturan Direktorat Jenderal Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum (DPU, 2006). Cakupan usia bangunan yang dikaji sampai dengan 50 tahun dengan mengacu pada peraturan SNI 2002.

Untuk perhitungan rumah tanpa perkuatan, nilai ekonomi rumah adalah nilai ekonomi rumah eksisting dikurangi dengan harga perkuatan beton (sloof, kolom, balok latei, dan balok ring) ditambah dengan harga kolom pilaster untuk tiap pojok rumah dan titik tumpuan kuda-kuda. Harga perkuatan beton dihitung de-

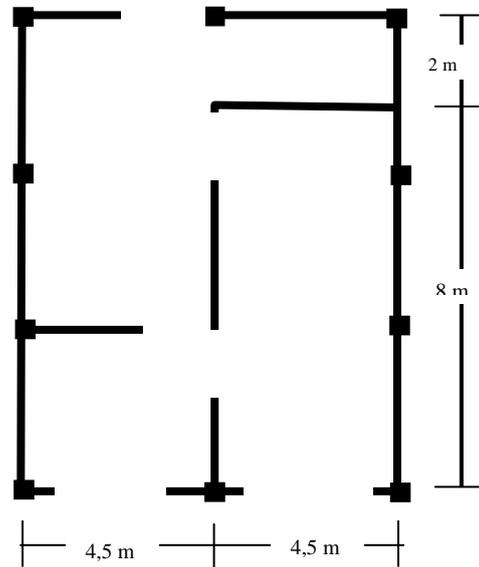
ngan perkalian antara volume beton dan harga satuan beton per m². Harga kolom pilaster dihitung dengan perkalian antara volume kolom pilaster dan harga satuan bata pilaster per m².

Perlu ditekankan di sini bahwa metode yang dipakai di sini bukan untuk menghasilkan hitungan yang sangat teliti, tetapi penelitian ini lebih menekankan pada demonstrasi metodologi yang sederhana dalam mengukur efektifitas biaya terhadap penerapan fitur-fitur struktur tahan gempa pada rumah tinggal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdapat 10 rumah yang dijadikan sampel dalam penelitian ini. Setiap rumah memiliki karakteristiknya masing-masing. Rumah-rumah ini diasumsikan memiliki tipikal perkuatan tahan gempa yang seragam dan nilai bangunan yang sama per m² luasan bangunannya.

Untuk mempermudah analisis, sebuah rumah diuraikan dengan detail, sedangkan ke 9 rumah-rumah yang lain dianalogkan dengan metode analisis yang sama. Rumah yang dijadikan sampel ada di Gambar 3a dan hanya bagian struktur bangunan utama saja yang dipertimbangkan (dengan mengabaikan bagian teras depan), yaitu dengan ukuran 9 m x 10 m, sehingga luas rumah sampel (rumah eksisting) adalah 90 m². Setiap pojok, titik tumpuan kuda-kuda, dan titik pertemuan tembok terdapat kolom beton bertulang, sedangkan kolom pilaster diasumsikan seperti dalam Gambar 3b.



(a) (b)
Gambar 4. Foto rumah sampel dan denah rumah utama dengan penempatan kolom pilaster yang dipertimbangkan dalam penelitian

Estimasi nilai ekonomi rumah adalah Rp2.290.000,00 per m² (Bappeda Provinsi DIY, 2011), maka nilai ekonomi rumah tersebut adalah 90 m² x Rp2.290.000,00 = Rp 206.100.000,00 untuk rumah eksisting yang meneRAPkan fitur-fitur struktur tahan gempa. Tabel 2 menguraikan bahwa estimasi harga kolom perkuatan beton = Rp11.320.000,00 dan kolom pilaster =

Rp3.150.000,00. Dengan demikian, estimasi rumah tanpa elemen struktur tahan gempa adalah = Rp206.100.000,00 – Rp11.320.000,00+ Rp3.150.000,00 = Rp197.930.000,00. Selisih antara kolom beton dan kolom pilaster adalah tambahan biaya untuk peneRAPan fitur-fitur tahan gempa, yaitu sebesar = Rp11.320.000,00– Rp3.150.000,00= Rp8.170.000,00.

Tabel 2. Perhitungan harga kolom perkuatan beton dan kolom pilaster

Komponen	Panjang (m)	Luas penampang (m ²)	Volume (m ³)	Volume total (m ³)	Harga satuan (*) (Rp juta/m ³)	Harga total (Rp juta)
Perkuatan beton						
Kolom beton (13 buah), ukuran 15 cm x 15 cm, tinggi 3,5 m	45.5	0.0225	1.0238			
Sloof ukuran 15 cm x 15 cm	55.0	0.0225	1.2375	3.90	2.9	11.32
Balok latei ukuran 15 cm x 15 cm	18.0	0.0225	0.4050			
Balok ring ukuran 15 cm x 15 cm	55.0	0.0225	1.2375			
Kolom pilaster (10 buah), ukuran 30 cm x 30 cm, tinggi 3,5 m	35.0	0.0900	3.1500	3.15	1	3.15

(*) Pedoman Harga Provinsi DIY

Dari data di www.detikfinance.com, diperoleh bahwa rata-rata laju inflasi di Indonesia dalam kurun waktu 2004 sampai dengan 2011 adalah sebesar 6,75% per tahun. Berdasarkan nilai inflasi tersebut, maka faktor pengali harga bangunan dalam rantang 10 tahunan secara sederhana adalah sebesar = (1 + 10 x 6,75%) = 1,675. Tabel 3 dan Tabel 4 menyajikan perhitungan nilai ekonomi rumah tahan gempa (eksisting) dan rumah tanpa elemen tahan gempa berturut-turut (dengan memasukkan faktor inflasi dan perawatan bangunan).

Tabel 3. Nilai ekonomi total rumah dengan fitur-fitur tahan gempa

Tahun ke	Pengali faktor inflasi	Harga rumah (*) (Rp. juta)	Biaya perawatan (Rp. juta)	Harga total (Rp. juta)
(1)	(2)	(3)	(4)=2% x 10 x (3)	(5)=(3) + (4)
0		206.10	0.00	206.10
10	1.675	345.22	69.04	414.26
20	1.675	578.24	115.65	693.89
30	1.675	968.55	193.71	1162.26
40	1.675	1622.32	324.46	1946.79
50	1.675	2717.39	543.48	3260.87

(*) Harga rumah tahun ke n = harga rumah (n-10) x faktor inflasi

Tabel 4. Nilai ekonomi total rumah tanpa n fitur-fitur tahan gempa

Tahun ke	Pengali faktor inflasi	Harga rumah (*) (Rp. juta)	Biaya perawatan (Rp. juta)	Harga total (Rp. juta)
(1)	(2)	(3)	(4)=2% x 10 x (3)	(5)=(3) + (4)
0		197.93	0.00	197.93
10	1.675	331.53	66.31	397.84
20	1.675	555.32	111.06	666.38
30	1.675	930.16	186.03	1116.19
40	1.675	1558.01	311.60	1869.61
50	1.675	2609.67	521.93	3131.60

(*) Harga rumah tahun ke n = harga rumah (n-10) x faktor inflasi

Hasil penilaian tentang tingkat kerusakan rumah oleh ahli kegempeaan dengan mempertimbangkan gambar rumah-rumah dan foto-foto pendukung (lihat Tabel 5) menghasilkan bahwa tingkat kerusakan adalah 8% untuk rumah existing tahan gempa

dan 75% untuk rumah virtual tanpa fitur-fitur tahan gempa berturut-turut terhadap nilai total bangunan. Tabel 6 menyajikan hasil perhitungan manfaat dan biaya pada peneRAPan struktur tahan gempa pada rumah tinggal yang dikaji. Dengan cara analog yang sama maka rumah ke 2 sampai ke 9 dapat dihitung dengan mudah, dan hasil lengkapnya disajikan dalam Tabel 7.

Tabel 5. Penilaian tingkat kerusakan rumah oleh para ahli kegempeaan

Responden	Tingkat kerusakan rumah eksisting tahan gempa	Tingkat kerusakan rumah virtual tidak tahan gempa
Ahli ke 1	Slight: 2%	Extensive: 50%
Ahli ke 2	Moderate: 10%	Complete: 100%
Ahli ke 3	Moderate: 10%	Ekstensive: 50%
Ahli ke 4	Moderate: 10%	Complete: 100%
Rata-rata	8%	75%

Tabel 6. Perhitungan rasio manfaat biaya

Skenario gempa th ke	Rumah dengan fitur-fitur tahan gempa		Rumah tanpa fitur-fitur tahan gempa		Manfaat	Biaya	Rasio manfaat-biaya
	Harga total	Nilai ekonomi kerusakan	Harga total	Nilai ekonomi kerusakan			
(1)	(2)	(3) = 8% x (2)	(4)	(5) = 75% x (4)	(6) = (5) - (3)	(7) = 8.17 x inflasi	(8) = (6) / (7)
0	206.1	16.49	197.9	148.45	131.96	8.17	16.15
10	414.3	33.14	397.8	298.38	265.24	13.68	19.38
20	693.9	55.51	666.4	499.79	444.27	19.20	23.14
30	1162.3	92.98	1116.2	837.14	744.16	24.71	30.11
40	1946.8	155.74	1869.6	1402.21	1246.47	30.23	41.23
50	3260.9	260.87	3131.6	2348.70	2087.83	35.74	58.41

Tabel 7. Perhitungan rasio manfaat biaya rumah ke 1 sampai dengan ke 10 dan rata-ratanya

Skenario gempa th ke	Rasio manfaat-biaya										Rata-rata rasio
	Rumah#1	Rumah#2	Rumah#3	Rumah#4	Rumah#5	Rumah#6	Rumah#7	Rumah#8	Rumah#9	Rumah#10	
0	16.15	11.61	12.77	18.09	18.99	19.75	11.73	12.81	12.07	12.31	14.63
10	19.38	13.93	15.32	21.71	22.79	22.91	14.19	15.41	14.38	14.71	17.47
20	23.14	16.63	18.29	25.92	26.78	27.85	16.80	18.35	17.30	17.63	20.87
30	30.11	21.64	23.81	33.72	35.41	36.83	21.86	23.89	22.51	22.94	27.27
40	41.23	29.64	32.60	46.18	48.49	50.43	29.94	32.70	30.83	31.42	37.35
50	58.41	41.98	46.18	65.42	68.69	71.44	42.40	46.32	43.66	44.50	52.90

Gambar 5 menyajikan kurva rasio manfaat-biaya untuk sepuluh rumah terhadap skenario gempa apabila terjadi gempa tahun ke 0, ke 10, tahun ke 20, tahun ke 30, tahun ke 40, dan tahun ke 50. Kurva-kurva ini memiliki trend kenaikan secara eksponensial yang seragam. Sedangkan rata-ratanya disajikan dalam Gambar 6.

PEMBAHASAN

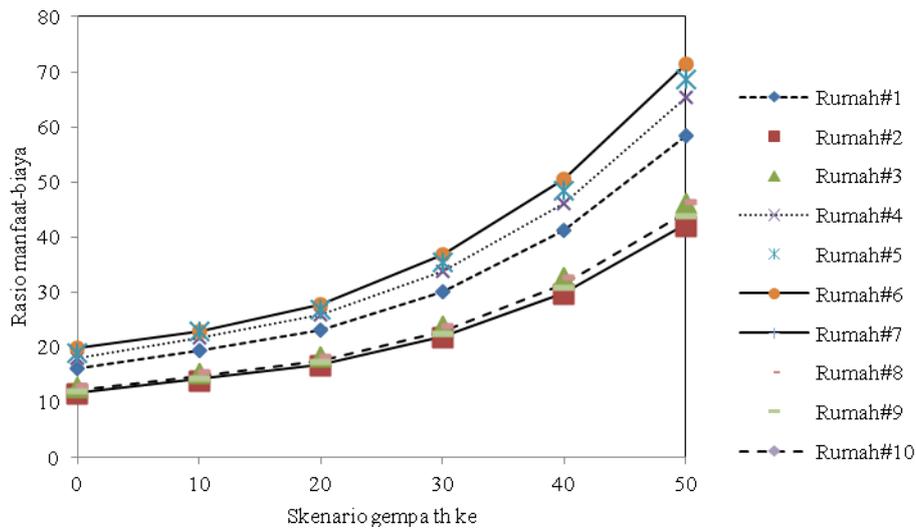
Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai rasio manfaat-biaya ini bergerak naik secara eksponensial dari 13,53 apabila terjadi gempa mulai dari tahun ke 0, yaitu sesaat setelah rumah tersebut selesai dibangun. Nilai keefektifan sebesar 13,53 ini jauh di atas batas minimal sebesar 1,00; yang artinya bahwa peneRAP-

an fitur-fitur struktur tahan gempa ini sangat efektif untuk mengurangi biaya kerusakan pada rumah tinggal apabila terjadi gempa. Berdasarkan kurva eksponensial di Gambar 5 dan 6, maka masyarakat yang menerapkan fitur-fitur struktur tahan gempa akan menikmati manfaat yang semakin lama semakin besar secara eksponensial. Apabila terjadi gempa di tahun ke 50, maka manfaat yang akan diterima adalah sebesar $52,9 / 14,63 = 3,62$ lebih besar dari pada apabila terjadi gempa di tahun ke 0.

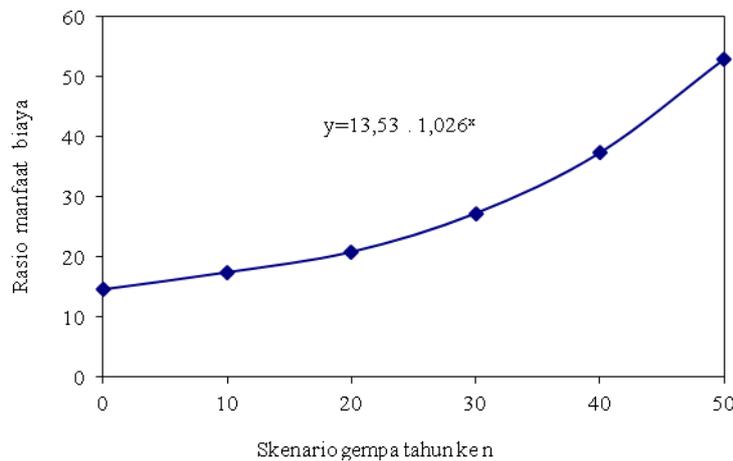
Hasil penelitian ini menjelaskan bahwa manfaat dari penerapan fitur-fitur struktur tahan gempa pada rumah tinggal adalah sangat lebih besar dari pada biaya tambahan yang diperlukan untuk memperkuat rumah tinggal. Sedemikian rupa sehingga, diseminasi tentang tambahan biaya pembangunan rumah tinggal untuk penerapan elemen tahan gempa harus disinergikan dengan

penjelasan yang rasional tentang manfaatnya selama usia ekonomis rumah tinggal tersebut. Opini masyarakat bahwa membangun rumah tahan gempa itu mahal dapat dikikis perlahan-lahan dengan informasi yang rasional tentang manfaat yang dapat dipetik

di kemudian hari apabila ada kejadian gempa yang tidak dapat diprediksi sebelumnya.



Gambar 5. Kurva rasio manfaat-biaya pada sepuluh rumah terhadap skenario gempa tahun ke n



Gambar 6. Kurva rasio manfaat-biaya rata-rata pada sepuluh rumah terhadap skenario gempa tahun ke n

KESIMPULAN

1. PeneRAPAN fitur-fitur struktur tahan gempa untuk rumah tinggal tembokan memang membutuhkan biaya tambahan untuk perkuatan pada sloof, kolom, balok latei, dan balok ring. Namun demikian, tambahan biaya ini cukup efektif untuk mengurangi kerusakan apabila terjadi gempa.
2. Nilai keefektifan ini bergerak naik dari 13,53 apabila terjadi gempa di tahun ke 0 (sesaat setelah rumah tinggal selesai dibangun). Selanjutnya, nilai keefektifan biaya pada skenario gempa apabila terjadi gempa pada tahun ke-10, ke-20, ke-30, ke-40, atau ke-50 berturut-turut adalah 17,47; 20,87; 27,27; 37,35, dan 52,90. Nilai rasio ini membentuk kurva dengan persamaan regresi $Y = 13,53 \cdot 1,026^x$, yang mengindikasikan bahwa nilai keefektifan penerapan elemen tahan gempa pada rumah tinggal bergerak naik secara eksponensial.
3. Semakin lama rentang kejadian gempanya, maka masyarakat pemilik rumah tahan gempa akan menikmati manfaat yang semakin besar. Apabila terjadi gempa di tahun ke-50, maka

manfaat yang akan diterima adalah sebesar 3,62 lebih besar dari pada apabila terjadi gempa di tahun ke-0.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Ditlitabmas DIKTI Kemendikbud atas dukungan dana dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda. (2011). *Pedoman Harga untuk Pengadaan Barang dan Jasa di Provinsi DIY*. Bappeda DIY, Yogyakarta.
- Bappenas. (2006). *Preliminary Damage and Loss Assessment: Yogyakarta and Central Java Natural Disaster*. The Consultative Group on Indonesia Jakarta, June 14, 2006.
- DPU (2006). *Penyelenggaraan Bangunan Gedung Negara*. Direktorat Jenderal Cipta Karya, Jakarta.

- Edwards, E. (2011). The Role of Earthquake Vulnerability Research in Risk Mitigation, The Second International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation (ICEEDM-2), Surabaya, Indonesia
- FEMA/Federal Emergency Management Agency. (1999). *Earthquake Loss Estimation Methodology HAZUS 99: Technical Manual*. FEMA Publication, Washington DC.
- FEMA/Federal Emergency Management Agency. (2005). *Seismic Considerations for Communities at Risk*, Building Seismic Safety Council, Washington, D.C.
- Riggs, J.L. Bedwort, D.D. dan Randhawa, S.U. (1998). *Engineering Economics*. McGraw-Hill. New York.
- Pemerintah Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. (2012). Geologi, <http://portal.jogjaprovo.go.id>, diakses September 2012
- Tim Revisi Peta Gempa Indonesia. (2010). *Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Peta Gempa Indonesia 2010*. Bandung.
- Widodo (2007). *Rumah Tahan Gempa (RTG) TUKU KALI (MenyaTU, Kuat, Kaku,Liat)*. Rumah Produksi Informatika, Yogyakarta.
- Winarno, S., Griffith, A., and Stephenson, P. (2009). Earthquake Risk to Non-Engineered Buildings in Indonesia. *International Innovation and Research Awards*, Highly Commended-Research Paper, CIOB UK, Ascot UK, 14 May 2009
- Winarno, S., Griffith, A., and Stephenson, P. (2010). Reducing Earthquake Risk to Non-Engineered Buildings: A Study of Design and Construction Practice in Indonesia. *The International Journal of Construction Management*, Volume. 10 Issue 1, pp 75-86.