

DISTRIBUSI BEBAN LATERAL PADA STRUKTUR AKIBAT BEBAN GEMPA

Yoyong Arfiadi

*Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta
Email: yoyong@mail.uajy.ac.id atau yoyong_arfiadi@ymail.com*

ABSTRAK

Pengaruh guncangan tanah akibat gempa pada struktur gedung dianggap bekerja sebagai beban lateral yang menangkap pada lantai-lantai gedung. Pengaruh guncangan tanah akibat gempa sebenarnya merupakan beban dinamik yang besarnya merupakan fungsi waktu, namun dalam peraturan bangunan, pengaruh ini biasanya dianggap sebagai beban statik ekuivalen dengan distribusi tertentu. Besarnya gaya lateral akibat gempa pada suatu gedung yang diatur dalam peraturan gempa dapat berbeda dari peraturan satu ke peraturan lainnya. Distribusi beban ini tentu dapat berbeda dari hasil analisis dinamik, yang biasanya dianggap sebagai metode yang lebih akurat. Namun analisis dinamik umumnya lebih kompleks dan memerlukan waktu yang panjang dalam melakukan analisis. Analisis dinamik pada gedung berlantai 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15 dan 20, yang dianggap mewakili gedung bertingkat rendah sampai tinggi, dibandingkan dengan analisis menurut ASCE 7-10 dan SNI 03-1726-2002. Dari analisis tampak bahwa untuk gedung bertingkat rendah sampai menengah (4 lantai – 6 lantai) hasil distribusi dari ketiga cara hampir serupa. Untuk gedung bertingkat tinggi atau struktur yang fleksibel, terdapat perbedaan yang cukup signifikan dari distribusi beban lateral dari ketiga cara tersebut. Untuk gedung bertingkat tinggi cara ASCE 7-10 cenderung memberikan beban yang tinggi pada tingkat atas dan beban yang jauh lebih kecil di tingkat-tingkat bawah; dengan kemiringan distribusi beban yang semakin tinggi pada tingkat-tingkat atas. SNI 03-1726-2002 juga memberikan gaya yang lebih besar di tingkat atas, lalu secara sedikit demi sedikit berkurang dengan kemiringan yang relatif konstan. Sedangkan distribusi beban dari analisis dinamik cenderung mempunyai bentuk kemiringan yang kecil di tingkat-tingkat menengah.

Kata kunci: beban gempa, distribusi beban lateral, analisis statik ekuivalen, analisis dinamik

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan daerah yang dilalui jalur gempa. Terletak di antara perbatasan tiga lempeng tektonik menyebabkan Indonesia termasuk daerah rawan gempa. Ketiga lempeng tersebut adalah lempeng Indo Australia, lempeng Pasifik dan lempeng Eurasia. Lempeng-lempeng tersebut saling bergerak dengan arah yang berbeda. Lempeng Pasifik bergerak dari arah timur ke arah barat dengan kecepatan lebih kurang 10 cm/tahun, lempeng Indo-Australia bergerak dari arah selatan mengarah ke utara dengan kecepatan 7-8 cm/tahun. Kedua lempeng ini menabrak lempeng Eurasia yang relatif stabil (Sudradjat, 1993). Walaupun pergerakan ini lambat tetapi konstan sehingga lama kelamaan terjadi akumulasi energi yang sangat besar pada perbatasan lempengan-lempengan tersebut. Jika kekuatan batuan dan tanah di lokasi tersebut sudah terlampaui maka batuan tersebut hancur sehingga energi di lokasi tersebut dirambatkan ke sekeliling menjadi gelombang gempa. Gelombang gempa ini dirambatkan ke bangunan di sekitar lokasi gempa. Jika bangunan tersebut kurang kuat maka akan terjadi keruntuhan.

Pengaruh guncangan tanah akibat gempa dianggap bekerja sebagai beban lateral yang menangkap pada lantai-lantai gedung. Pengaruh guncangan tanah akibat gempa sebenarnya merupakan beban dinamik yang besarnya merupakan fungsi waktu, namun dalam peraturan bangunan, pengaruh ini biasanya dianggap sebagai beban statik ekuivalen dengan distribusi tertentu (SNI 03-1726-2002, International Code Council 2009).

Berbeda dengan beban angin, dimana besarnya gaya yang bekerja tergantung dari bidang muka yang diterpanya, untuk beban gempa besarnya gaya tergantung dari massa, redaman dan kekakuan gedung. Selain itu distribusi beban yang bekerja pada gedung akan dipengaruhi oleh kekakuan tingkat gedung. Beban gempa yang terjadi disalurkan dari dasar gedung ke sepanjang tinggi gedung. Distribusi beban gempa ini sangat penting dalam perencanaan suatu struktur. Distribusi beban gempa ini mengikuti aturan tertentu yang diatur dalam suatu peraturan bangunan.

Distribusi beban gempa sepanjang tinggi gedung merupakan suatu hal yang penting dilakukan. Prediksi yang akurat dalam distribusi beban gempa akan berpengaruh pada gaya-gaya dalam yang terjadi pada struktur. Besarnya gaya lateral akibat gempa pada suatu gedung yang diatur dalam peraturan gempa dapat berbeda dari peraturan satu ke peraturan lainnya. Dalam hal ini peraturan gempa Indonesia termasuk yang paling sederhana dalam mengadopsi persamaan untuk distribusi beban gempa, di mana hanya merupakan fungsi berat masing-masing lantai dan tinggi lantai. Distribusi beban ini tentu dapat sangat berbeda dari hasil analisis dinamik, yang biasanya dianggap sebagai metode yang lebih akurat. Namun analisis dinamik umumnya lebih kompleks dan memerlukan waktu yang panjang dalam melakukan analisis.

2. DISTRIBUSI BEBAN MENURUT PERATURAN

Beban gempa sebenarnya merupakan beban dinamik yang berasal dari guncangan tanah. Karena beban gempa merupakan beban dinamik, maka respons struktur juga sebagai suatu respons yang dinamik yaitu merupakan suatu fungsi waktu. Walaupun demikian dalam peraturan gedung, beban ini dianggap sebagai beban statik yang menangkap pada pusat massa (UBC 1997, NEHRP 2003, SNI 03-1726-2002, NBCC 2005). Besarnya gaya geser dasar total tergantung dari lokasi, jenis struktur dan daktilitas struktur yang direncanakan. Gaya geser dasar ini lalu didistribusikan pada setiap lantai sesuai dengan sifat-sifat struktur yang ada. Dalam peraturan gempa umumnya distribusi ini tergantung dari berat masing-masing lantai, geometri denah bangunan dan waktu getar bangunan.

Dalam peraturan bangunan, ada perbedaan dalam cara mendistribusikan gaya geser dasar akibat gempa ke sepanjang tinggi gedung dalam peraturan-peraturan bangunan. Hal ini karena dalam persamaan yang ada pada peraturan-peraturan tersebut merupakan pendekatan dari keadaan sesungguhnya dengan pertimbangan untuk menyederhanakan hitungan. Distribusi yang lebih cocok dalam hal ini adalah distribusi yang diperoleh dari analisis dinamik. Sayangnya distribusi beban dengan analisis dinamik membutuhkan hitungan yang lebih panjang dan dianggap kurang praktis. Perlu dicatat bahwa persamaan-persamaan untuk distribusi beban gempa tersebut hanyalah penyederhanaan yang diturunkan dari analisis dinamik di mana pola getaran gedung dianggap fungsi linier dari tingginya. Pendekatan ini diambil dengan anggapan kekakuan dan berat tiap tingkat adalah seragam.

Distribusi beban lateral menurut ASCE 7-10

Berdasarkan American Society of Civil Engineer 7-10 (ASCE 7-10), gaya geser dasar total dapat didistribusikan menurut persamaan:

$$F_1 = \frac{W_i z_i^k}{\sum W_i z_i^k} V \quad (1)$$

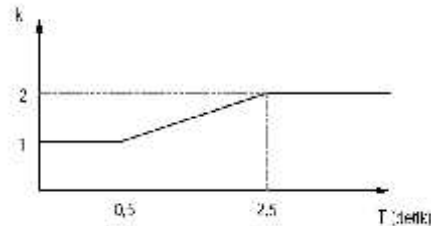
dengan nilai k diperoleh sebagai berikut ini:

$$k = 1 \text{ untuk } T \leq 0,5 \text{ detik} \quad (2a)$$

$$k = 2 \text{ untuk } T \geq 2,5 \text{ detik} \quad (2b)$$

$$k = \text{interpolasi linier antara 1 sampai 2 untuk } 0,5 \text{ detik } < T < 2,5 \text{ detik} \quad (2c)$$

Nilai k dapat ditunjukkan dalam grafik seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Variasi nilai k pada ASCE 7-10

Perlu dicatat bahwa saat ini sedang dilakukan perubahan pada peraturan gempa Indonesia, yang akan mengacu pada ASCE 7-10 ini.

Distribusi beban lateral menurut SNI 03-1726-2002

Menurut SNI 03-1726-2002 gaya geser dasar total akibat gempa harus didistribusikan pada setiap lantai sesuai dengan persamaan:

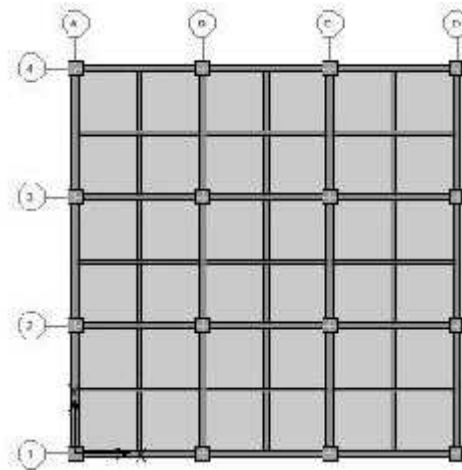
$$F_1 = \frac{W_i z_i}{\sum W_i z_i} V \quad (3)$$

Persamaan (3) berlaku untuk $H/B \leq 3$ dengan H = tinggi struktur dan B = ukuran denah dalam arah pembebanan gempa. Jika $H/B > 3$, maka beban sebesar $0,1 V$ harus dipasang pada puncak bangunan dan $0,9 V$ didistribusikan menurut persamaan (3) ke sepanjang tinggi struktur.

3. EVALUASI DISTRIBUSI BEBAN GEMPA

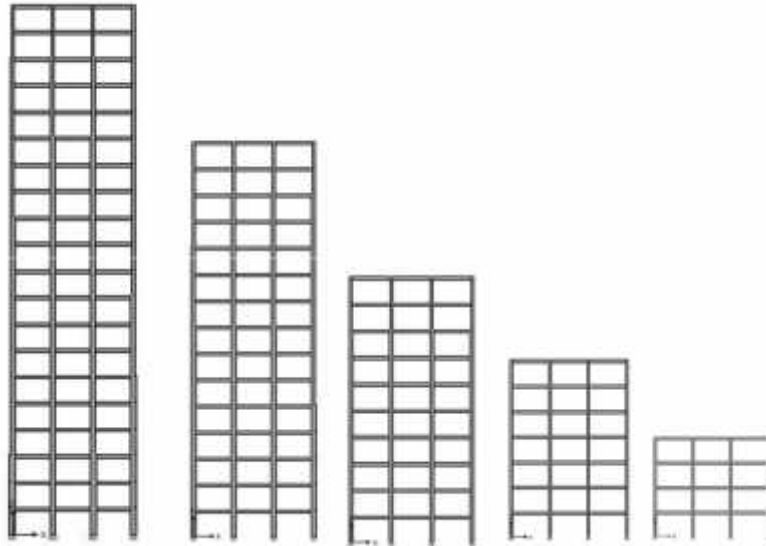
Untuk mengetahui sejauh mana distribusi beban lateral yang dihitung dengan peraturan yang ada mendekati distribusi beban lateral yang dihitung dengan analisis dinamik, selanjutnya ditinjau variasi gedung. Gedung yang ditinjau adalah gedung dengan jumlah lantai = 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 15 dan 20 lantai. Denah yang ditinjau tipikal seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Tinggi antar lantai = 4m. Struktur dianggap terletak di wilayah gempa 4 dengan kondisi tanah lunak. Gedung direncanakan sebagai sistem rangka pemikul momen khusus (SRPMK) dengan fungsi sebagai kantor, sehingga nilai $R = 8,5$ dan $I = 1$. Spektrum respons percepatan gempa sesuai dengan SNI 03-1726-2002 digunakan untuk menghitung besarnya gaya gempa. Metode spektrum respons dengan KKL (kombinasi kuadratik lengkap) digunakan untuk menghitung besarnya gaya gempa berdasarkan analisis dinamik. Beban gempa dianggap bekerja pada pusat massa masing-masing lantai. Untuk setiap struktur yang ditinjau jumlah ragam yang diperhitungkan diambil sebesar tiga kali tinggi tingkat. Analisis struktur menggunakan program ETABS Nonlinear.

Hasil analisis gaya gempa disajikan secara beturut-turut pada Tabel 1 sampai dengan Tabel 5. Pada Tabel tersebut disajikan perbandingan gaya gempa yang dihitung dengan analisis statik ekuivalen SNI 03-1726 2002, gaya lateral ekuivalen ASCE 7-10 dan analisis dinamik. Selanjutnya distribusi gaya gempa berdasarkan metode-metode tersebut disajikan pula pada Gambar 4. Dalam grafik Gambar 4 distribusi beban dinormalisasi sehingga mempunyai gaya geser dasar sama dengan gaya geser dasar berdasarkan analisis dinamik. Mengingat terbatasnya tempat, tidak semua hasil disajikan pada Gambar 4.



Gambar 2. Denah tipikal gedung

Dari hasil analisis (Gambar 4 dan Tabel 1 sampai dengan 5), tampak bahwa distribusi beban lateral untuk gedung bertingkat rendah sampai menengah, ketiga cara memberikan hasil yang hampir serupa. Untuk gedung bertingkat tinggi, terdapat perbedaan yang signifikan dari hasil ketiga cara tersebut. SNI 03-1726-2002 memberikan gaya yang besar pada tingkat paling atas, lalu nilainya berkurang dengan kemiringan yang relatif konstan. ASCE 7-10 memberikan kemiringan distribusi beban lateral yang semakin tinggi pada tingkat-tingkat yang lebih tinggi. Kadaan ini sebagai konsekuensi dari fungsi distribusi yang diberikan oleh ASCE di mana digunakan pangkat yang lebih tinggi untuk gedung fleksibel (bertingkat tinggi). Hasil analisis dinamik menunjukkan distribusi beban lateral yang khas untuk gedung bertingkat tinggi. Dari Gambar 4 tampak bahwa pada tingkat-tingkat tengah distribusi beban lateral mempunyai kemiringan yang kecil (gaya relatif konstan untuk gedung fleksibel). Pada tingkat-tingkat paling bawah dan paling atas mempunyai kemiringan yang lebih besar dibandingkan tingkat-tingkat tengah. Perlu dicatat pula bahwa fungsi yang diberikan oleh ASCE 7-10 memberikan kecenderungan menghasilkan gaya lateral yang lebih besar pada tingkat-tingkat yang lebih tinggi dan gaya lateral yang sangat kecil untuk tingkat-tingkat yang rendah dibandingkan dengan hasil analisis dinamik.



Gambar 3. Variasi tinggi gedung: maksimum 20 lantai, minimum 4 lantai.

Untuk mendapatkan bentuk distribusi yang lebih menyerupai hasil analisis dinamik, dicoba dengan memasukkan pengaruh ragam ke dua dengan menganggap ragam ke dua sebagai fungsi sinus dengan panjang 1,5 periode menurut persamaan:

$$F_i = \frac{W_i z_i + a W_i \sin \frac{\pi}{2} \frac{z_i}{H} \ddot{y}}{\sum_{i=1}^n W_i z_i + a W_i \sin \frac{\pi}{2} \frac{z_i}{H} \ddot{y}} V \quad (4)$$

dengan a= koefisien untuk memperhitungkan ragam ke dua dan H = tinggi total gedung.

Sebagai perbandingan disajikan distribusi beban lateral untuk gedung 20 lantai dan 4 lantai pada Gambar 5 di mana diambil nilai a= - 0,04 untuk gedung 4 lantai dan a = - 0,4 untuk gedung 20 lantai. Dari Gambar 5 tampak bahwa persamaan 4 menyerupai bentuk distribusi beban dinamik. Tampak pula bahwa gaya lateral pada tingkat yang rendah dengan persamaan (4) lebih kecil dibandingkan hasil analisis dinamik.

Tabel 1. Distribusi beban lateral gedung 20 lantai dan 15 lantai

Tingkat	20 lantai			15 lantai		
	F dinamik	F statik	F ASCE	F dinamik	F statik	F ASCE
20	186.59	229.96	162.80			
19	147.25	98.25	156.28			
18	114.68	95.52	143.94			
17	96.09	92.81	132.09			
16	77.95	87.35	117.01			
15	66.12	84.38	105.97	211.32	253.30	208.15
14	60.01	81.33	95.32	168.71	124.87	192.87
13	53.95	75.52	82.19	131.76	118.99	170.66
12	50.22	70.84	71.17	108.81	113.00	149.60
11	48.22	66.07	60.85	87.08	105.09	127.53
10	46.25	60.07	50.29	72.52	97.05	107.07
9	45.89	54.98	41.43	62.07	87.35	86.73
8	46.83	49.76	33.33	59.3	80.14	70.74
7	47.72	43.54	25.51	62.29	72.53	56.01
6	49.63	37.98	19.08	64.73	62.16	41.15

5	50.79	32.24	13.50	66.94	52.69	29.06
4	48.23	25.79	8.64	65.06	42.91	18.94
3	43.35	20.07	5.04	55.94	32.18	10.65
2	32.95	13.90	2.33	40.72	21.84	4.82
1	14.59	6.95	0.58	17.97	11.12	1.23

Tabel 2. Distribusi beban lateral gedung 12 lantai dan 10 lantai

Tingkat	12 lantai			10 lantai		
	F dinamik	F statik	F ASCE	F dinamik	F statik	F ASCE
12	212.83	261.23	230.59			
11	170.36	141.69	207.53			
10	134.57	132.19	177.35	223.06	187.26	250.71
9	114.52	122.40	149.03	181.64	179.27	221.90
8	95.69	108.80	118.86	146.47	163.53	185.43
7	84.29	96.58	93.31	127.45	147.21	151.13
6	79.21	84.10	70.50	109.15	126.18	115.49
5	74.99	70.08	49.68	96.99	106.67	85.25
4	69.48	56.06	32.36	87.93	86.69	58.68
3	59.15	42.05	18.62	74.27	65.02	35.53
2	43.61	28.94	8.82	54.47	43.35	17.51
1	20.38	14.96	2.41	25.42	21.67	5.23

Tabel 3. Distribusi beban lateral gedung 9 lantai dan 8 lantai

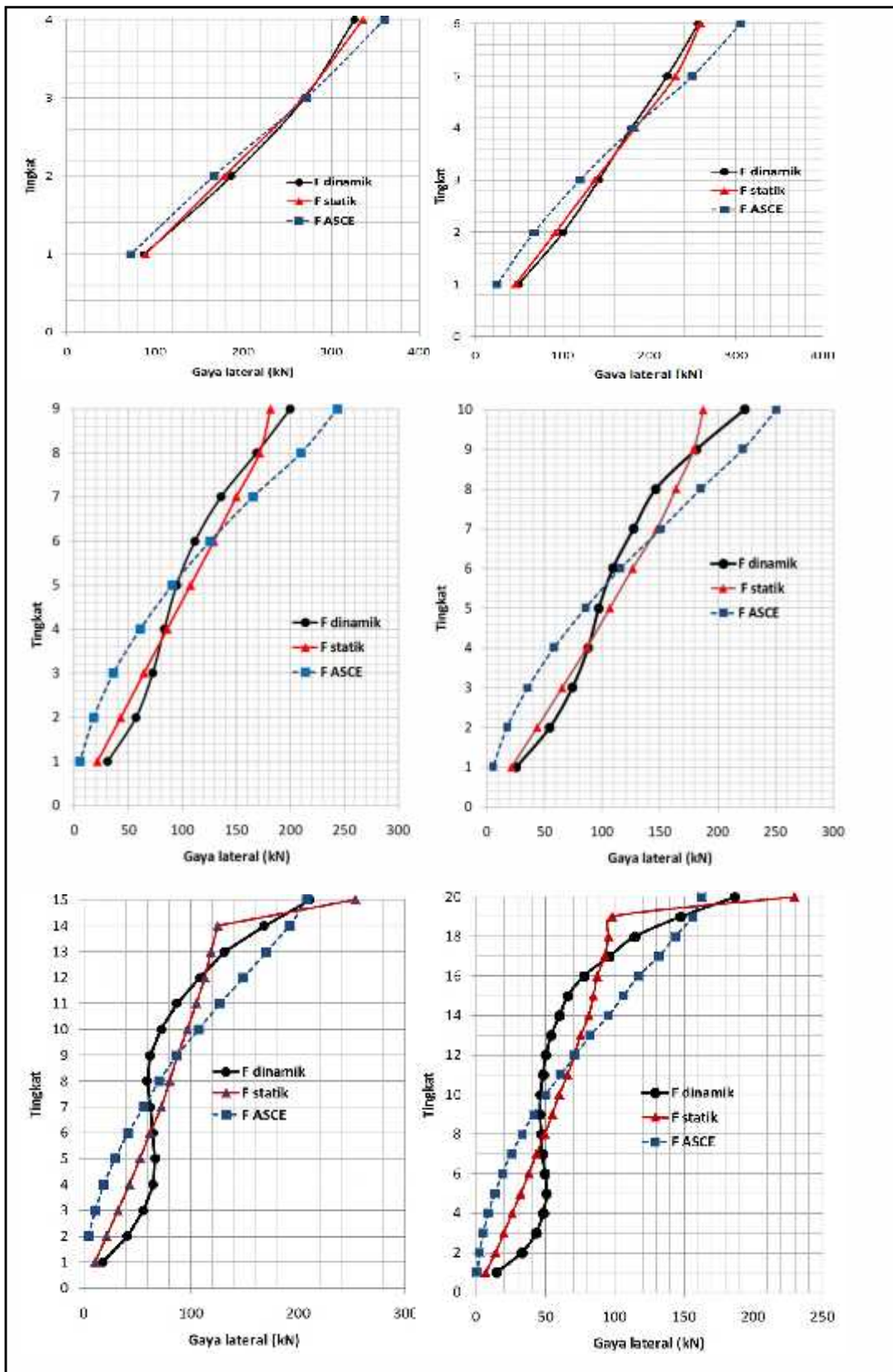
Tingkat	9 lantai			8 lantai		
	F dinamik	F statik	F ASCE	F dinamik	F statik	F ASCE
9	199.81	181.47	243.15			
8	168.81	171.57	209.57	213.03	201.37	258.75
7	136.01	150.13	165.10	180.77	187.42	220.27
6	111.35	128.68	125.36	147.02	160.64	170.33
5	94.62	107.23	90.52	121.6	133.87	125.66
4	83.1	85.79	60.77	102.71	107.10	86.61
3	72.57	64.34	36.35	86.14	80.32	53.60
2	56.81	42.89	17.62	65.47	53.55	27.25
1	30.47	21.45	5.11	34.31	26.77	8.58

Tabel 4. Distribusi beban lateral gedung 7 lantai dan 6 lantai

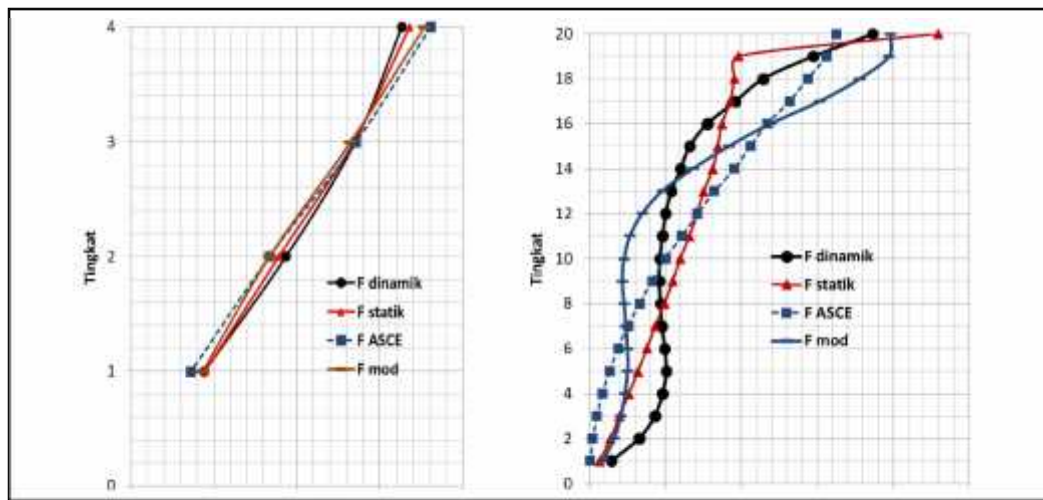
Tingkat	7 lantai			6 lantai		
	F dinamik	F statik	F ASCE	F dinamik	F statik	F ASCE
7	231.33	226.50	278.73			
6	197.3	206.50	233.44	257.36	259.66	305.65
5	161.57	172.09	175.95	221.16	230.16	250.30
4	132.67	137.67	124.48	179.78	184.13	181.75
3	107.38	103.25	79.68	141.66	138.10	120.30
2	78.83	68.83	42.49	100.67	92.06	67.25
1	40.19	34.42	14.50	49.51	46.03	24.89

Tabel 5. Distribusi beban lateral gedung 5 lantai dan 4 lantai

Tingkat	5 lantai			4 lantai		
	F dinamik	F statik	F ASCE	F dinamik	F statik	F ASCE
5	296.22	304.68	342.72			
4	254.12	259.26	271.63	326.43	335.75	360.85
3	198.99	194.44	185.89	269.81	267.84	271.51
2	137.92	129.63	108.92	187.19	178.56	166.69
1	65.57	64.81	43.67	88.01	89.28	72.39



Gambar 4. Perbandingan distribusi beban



Gambar 5. Perbandingan distribusi beban gedung 4 lantai dan 20 lantai

4. KESIMPULAN

Distribusi beban lateral pada sepanjang tinggi gedung telah dibahas dalam tulisan ini. Distribusi gaya menurut ASCE 7-10, SNI 03-1726-2002 dan analisis dinamik dibandingkan untuk gedung dengan variasi mulai dari 4 lantai sampai dengan 20 lantai. Untuk gedung bertingkat rendah sampai menengah distribusi dari ketiga metode tersebut tidak terlalu berbeda jauh. Untuk gedung yang fleksibel, distribusi menurut SNI 03-1726-2002 memberikan nilai gaya yang besar pada puncak bangunan lalu berkurang dengan kemiringan yang relatif konstan. Metode ASCE memberikan kecenderungan kemiringan yang relatif besar pada tingkat-tingkat tinggi sehingga gaya lateral pada tingkat-tingkat tinggi lebih besar dibandingkan dengan hasil analisis dinamik. Pada tingkat-tingkat yang rendah nilai gaya lateral menurut ASCE jauh lebih kecil dibandingkan dengan hasil analisis dinamik. Hasil analisis dinamik untuk gedung fleksibel menunjukkan kecenderungan kemiringan yang kecil pada tingkat-tingkat yang rendah dibandingkan dengan tingkat di bawah atau di atasnya. Persamaan dengan mengikutkan ragam kedua disajikan pula dengan pendekatan ragam ke dua merupakan fungsi sinus dengan 1,5 periode dan dengan memperhatikan besarnya kontribusi ragam tersebut terhadap respons secara keseluruhan. Perbandingan distribusi beban lateral menunjukkan bahwa dengan mengikutkan kontribusi ragam ke dua, bentuk distribusi beban lateral hampir menyerupai distribusi hasil analisis dinamik.

DAFTAR PUSTAKA

- ASCE/SEI 7-10. (2010). *ASCE 7-10: Minimum Design Loads for Building and Other Structures*. American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- International Code Council, Inc (2009). *International Building Code 2009*. Country Club Hill, IL.
- NBCC (2005). *National Building Code of Canada 2005*. Canadian Commission on Building and Fire Codes National Research Council of Canada. Ottawa.
- NEHRP (2003). *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures (FEMA 450)*. Building Seismic Safety Council. Washington DC.
- SNI 03-1726-2002 (2002). *Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. Bandung.
- Sudradjat, A. (1993). "Masalah dan upaya mitigasi bencana gempa bumi di Indonesia". *Prosiding Seminar Aspek Rekayasa Sipil dan Bidang Terkait dalam Mitigasi Bahaya Gempa di Indonesia*. Bandung