

OPTIMASI JARAK ANTAR DUA BANGUNAN GEDUNG BERTINGKAT YANG BERSEBELAHAN DENGAN MEMPERHITUNGKAN PENGARUH GEMPA

Femmy The

M.D.J. Sumajouw, S.E. Wallah, R.S. Windah

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email : vd_72vmy52@yahoo.com

ABSTRAK

Benturan dapat terjadi pada dua bangunan gedung bertingkat yang bersebelahan apabila jarak antar dua bangunan tersebut lebih kecil dari simpangan maksimum yang terjadi akibat beban gempa. Benturan menimbulkan gaya-gaya dalam tambahan pada elemen struktur yang terakumulasi dengan gaya-gaya dalam akibat beban dinamik itu sendiri sehingga mengakibatkan kerusakan pada struktur. Untuk itu diperlukan optimasi jarak pemisah antar dua bangunan gedung bertingkat yang bersebelahan, agar benturan dapat dihindari.

Analisa dilakukan pada model bangunan penahan geser bertingkat 2 (dua) sampai dengan bertingkat 10 (sepuluh) dengan material beton bertulang. Simpangan horisontal struktur diperoleh menggunakan analisa respon spektrum untuk tanah keras di wilayah gempa VI (enam) Indonesia. Hasil analisa menunjukkan bahwa syarat batas ultimit untuk jarak antar dua bangunan yang bersebelahan 0,008 kali tinggi bangunan agar tidak terjadi benturan (efek Pounding) pada dua bangunan tersebut.

Kata kunci : *benturan antar gedung, gempa, jarak antar bangunan, optimasi jarak pemisah, respons spectrum, simpangan horisontal*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bangunan bertingkat adalah bangunan yang mempunyai lebih dari satu lantai secara vertikal. Bangunan bertingkat ini dibangun berdasarkan keterbatasan tanah yang mahal di perkotaan dan tingginya tingkat permintaan ruang untuk berbagai macam kegiatan.

Indonesia merupakan salah satu negara dengan aktivitas gempa yang tinggi. Hal ini disebabkan karena lokasi Indonesia yang terletak pada pertemuan empat lempeng tektonik utama yaitu Lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan Filipina. Pertemuan lempeng-lempeng tersebut mengakibatkan mekanisme tektonik dan kondisi geologi Indonesia mengakibatkan seringnya terjadi gempa.

Bencana alam seperti gempa bumi yang terjadi menyebabkan kerugian jiwa dan harta benda yang sangat besar. Hal ini disebabkan karena pada saat gempa terjadi, gedung akan mengalami simpangan horisontal dan jika ini melebihi syarat aman yang telah ditetapkan oleh peraturan SNI 03-1726-2002 yang ada maka gedung akan mengalami kegagalan struktur.

Keterbatasan tanah yang mahal di perkotaan dan tingginya tingkat permintaan ruang untuk berbagai macam kegiatan menyebabkan struktur gedung sering dibangun saling berdekatan satu sama lainnya. Berkaitan dengan kondisi bangunan yang saling berdekatan, akibat dari pergerakan tanah saat terjadi gempa bumi dapat menimbulkan benturan antar gedung yang berdekatan apabila jarak kedua gedung tersebut lebih kecil dari simpangan struktur yang terjadi.

Benturan menimbulkan gaya-gaya dalam tambahan pada elemen struktur, yang mana gaya tersebut biasanya pada perencanaan awal belum diperhitungkan. Gaya-gaya dalam akibat benturan ini akan terakumulasi dengan gaya-gaya dalam akibat beban dinamik itu sendiri, sehingga dapat mengakibatkan kerusakan atau bahkan kegagalan struktur.

Disamping itu, perbedaan karakteristik dinamik dari gedung-gedung yang berdampingan akan menimbulkan perbedaan fase sehingga terjadinya benturan tidak dapat dihindarkan.

Rumusan Masalah

Pada saat terjadi gempa, besarnya simpangan pada setiap bangunan berbeda-beda, tergantung pada faktor-faktor seperti redaman, kekakuan, dan massa struktur. Simpangan yang terjadi antar dua bangunan bertingkat bersebelahan yang cukup besar akan menimbulkan kegagalan struktur akibat benturan (efek *Pounding*). Benturan tersebut dapat dikurangi dengan memaksimalkan jarak antar dua bangunan tersebut.

Berdasarkan latar belakang masalah, maka penulis akan mengkaji mengenai "Optimasi Jarak Antar Dua Bangunan Gedung Bertingkat Yang Bersebelahan Dengan Memperhitungkan Pengaruh Gempa".

Pembatasan Masalah

Penelitian ini akan dibatasi pada keadaan sebagai berikut :

1. Struktur yang ditinjau adalah struktur *frame* bidang 2D (dua dimensi).
2. Bentuk struktur adalah simetris dan elemen-elemen struktur adalah prismatic.
3. Dimensi elemen-elemen struktur sama untuk setiap bangunan yang ditinjau, yaitu untuk kolom digunakan dimensi 60/60 dan untuk balok digunakan dimensi 40/60.
4. Struktur dianalisa pada kondisi elastis-linear.
5. Tekuk elemen struktur diabaikan.
6. Pondasi struktur terjepit kaku pada tanah.
7. Bangunan gedung diidealisasikan sebagai bangunan penahan geser (*shear building*).
8. Struktur *frame* yang ditinjau adalah bertingkat 2 (dua) sampai bertingkat 10 (sepuluh).
9. Struktur *frame* adalah beton bertulang.
10. Simpangan yang dihitung adalah simpangan lateral.

Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menghitung simpangan lateral struktur dengan memperhitungkan pengaruh gempa.
2. Menghitung jarak minimum antar 2 (dua) bangunan gedung bertingkat yang bersebelahan sehingga tidak mengalami benturan.

3. Menghindari kegagalan pada struktur berdasarkan batasan yang diperoleh dari hasil analisa.

Manfaat Penelitian

Manfaat dari penulisan antara lain:

1. Mengetahui simpangan lateral struktur yang mungkin terjadi pada suatu bangunan bertingkat saat terjadi gempa.
2. Dapat dijadikan acuan dalam penentuan jarak antar 2 (dua) bangunan gedung bertingkat yang bersebelahan.
3. Dapat menambah pengetahuan bagi penulis dalam menganalisa suatu bangunan gedung bertingkat dengan memperhitungkan pengaruh gempa.

Metodologi Penelitian

Penelitian ini berbentuk studi literatur. Beberapa asumsi untuk penyederhanaan perhitungan struktur digunakan dalam model matematis dua bangunan bersebelahan yang diamati.

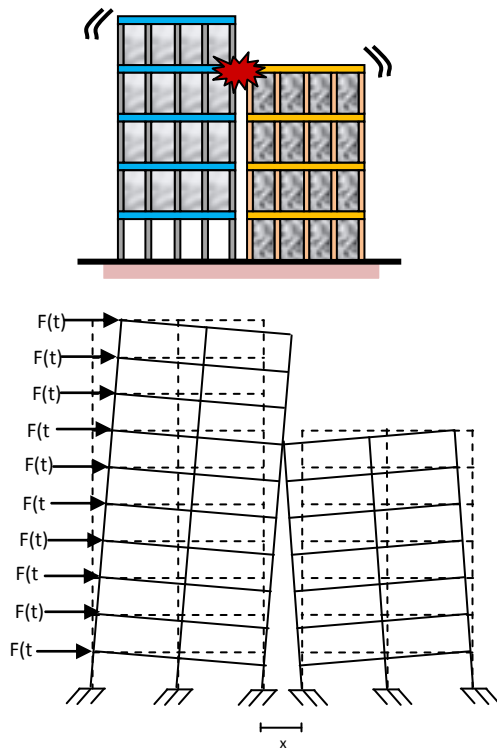
Untuk membantu perhitungan digunakan program *MS Office Excel* dan *Maple 12*. Sedangkan cara yang dipakai untuk menghitung simpangan lateral struktur adalah cara dinamis respons spektrum yang nantinya digunakan dalam menganalisis jarak pemisah antar dua bangunan gedung bertingkat yang bersebelahan. Selanjutnya, perhitungan divalidasi dengan menggunakan program SAP 2000 untuk melihat persentase kesalahannya.

EFEK POUNDING DUA BANGUNAN YANG BERSEBELAHAN

Semakin bertambahnya tinggi suatu gedung, respons struktur terhadap beban lateral, baik akibat beban gempa maupun beban angin menjadi semakin penting, karena pada ketinggian tertentu ayunan lateral bangunan menjadi demikian besar. Jika suatu struktur bertingkat dibebani beban lateral ($F(t)$) seperti beban gempa, maka struktur akan mengalami deformasi berupa simpangan lateral (Δ). Simpangan lateral yang berlebihan dapat menimbulkan ketidakstabilan lateral pada struktur, sehingga struktur dapat mengalami keruntuhan.

Pada dua struktur yang bersebelahan, simpangan lateral yang berlebih dapat mengakibatkan benturan atau efek *Pounding*. Benturan tersebut dapat mengakibatkan kerusakan struktur dimana ada satu atau dua komponen struktur atau bahkan struktur

tersebut secara keseluruhan kehilangan kemampuan menahan beban yang dipikulnya. Efek benturan ini lebih berpengaruh pada bangunan tinggi. Apabila tinggi bangunan tidak sama, bagian atap dari bangunan yang lebih rendah kemungkinan akan membentur bagian tengah dari kolom bangunan yang lebih tinggi. Ini akan sangat berbahaya dan dapat menjurus kepada keruntuhan lantai.



Gambar 1. Pemodelan efek *Pounding*

Oleh karena itu didalam perencanaan struktur bertingkat banyak tahan gempa, simpangan lateral pada dua bangunan gedung bertingkat yang bersebelahan perlu diperhatikan antara lain dengan menentukan jarak pemisah yang cukup dari kedua bangunan tersebut.

KONTROL SIMPANGAN DAN JARAK PEMISAH

Suatu struktur bertingkat jika dibebani beban lateral seperti beban gempa, akan mengalami simpangan lateral, karena kinerja struktur gedung tersebut ditentukan oleh simpangan antar tingkat akibat pengaruh gempa. Untuk menghindari terjadinya pelelehan baja dan peretakan beton yang berlebihan, disamping untuk mencegah kerusakan non-struktur dan ketidaknyaman-

an penghuni perlu dihindari perilaku simpangan yang berlebihan atau tidak memenuhi syarat yang ditentukan.

Berdasarkan hasil pengamatan empiris dan studi teoritis tentang respons dinamis, mengindikasikan bahwa besarnya simpangan lateral dan potensi kerusakan bangunan mempunyai hubungan yang sangat kuat. Hubungan simpangan lateral dan potensi kerusakan bangunan sangat bervariasi dan tergantung pada detail dari struktur bangunan tersebut. Secara umum hubungan potensi kerusakan dan besarnya jarak pemisah dapat dikontrol melalui kinerja struktur gedung (SNI 03-1726-2002) dalam hal ini adalah kinerja batas layan dan kinerja batas ultimit.

Jarak pemisah antar-gedung harus ditentukan paling sedikit sama dengan jumlah simpangan maksimum masing-masing struktur gedung pada taraf itu. Dalam segala hal masing-masing jarak tersebut tidak boleh kurang dari 0,025 kali ketinggian taraf itu diukur dari taraf penjepitan lateral. Hal tersebut untuk memenuhi persyaratan kinerja batas ultimit.

GAYA AKIBAT GEMPA

Pergerakan pada kerak bumi akan menimbulkan energi yang terakumulasi kemudian dipancarkan ke segala arah. Energi yang dipancarkan berupa energi gelombang yang menyebabkan terjadinya gerakan tanah (*ground motions*). Gerakan tanah akibat gempa menghasilkan percepatan tanah, yang jika berada pada lokasi struktur akan diteruskan oleh tanah pada kerangka struktur. Percepatan tanah akibat gempa pada umumnya hanya terjadi beberapa detik sampai puluhan detik saja, walaupun kadangkala dapat terjadi lebih dari satu menit. Percepatan yang dialami struktur akan menimbulkan gaya horisontal dan gaya vertikal, sehingga struktur mengalami simpangan vertikal dan simpangan horisontal (lateral).

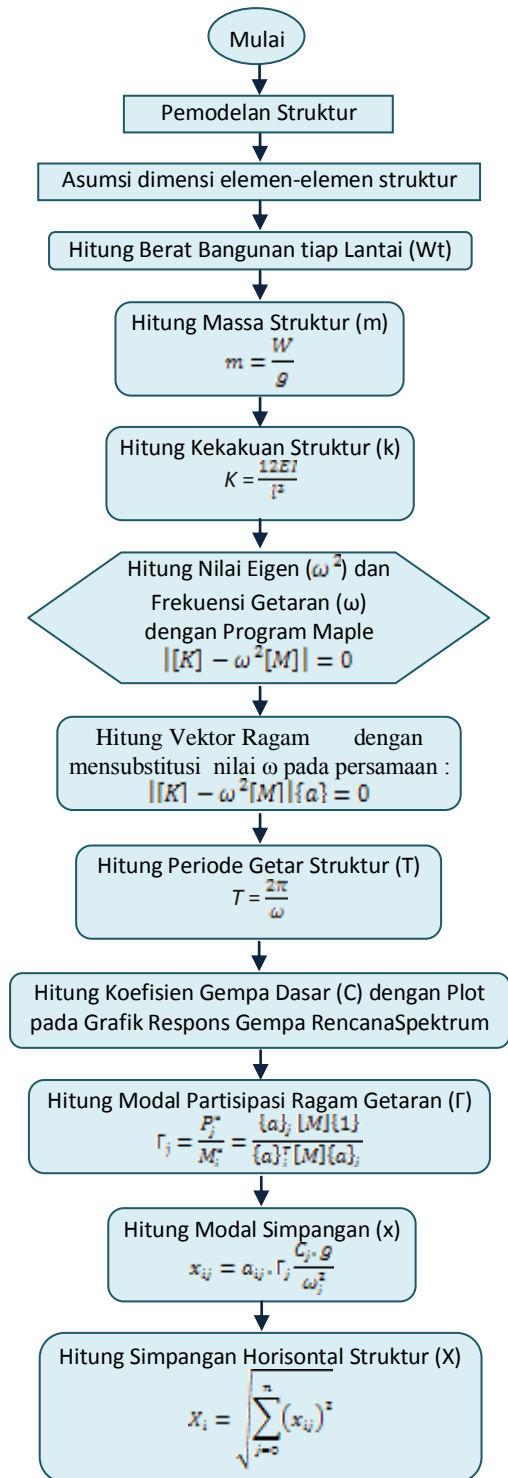
Untuk menghitung besarnya simpangan lateral dan untuk keperluan penyederhanaan analisa, maka massa struktur dianggap hanya melakukan translasi (simpangan) pada arah lateral saja. Sehingga percepatan akibat gempa yang dialami struktur hanya menimbulkan gaya lateral saja dan analisa yang digunakan untuk mendapatkan simpangan maksimum tiap tingkat (translasi) adalah Analisa Respons Spektrum.

**ANALISA DINAMIS STRUKTUR
AKIBAT GEMPA**

Tahapan-tahapan perhitungan simpangan horisontal struktur tersebut dapat dilihat pada bagan alir (Gambar 2). Sebagai validasi digunakan Program SAP 2000 dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1) Buat model struktur sesuai karakteristik yang dimisalkan.
- 2) Edit *Load Case* dengan mengklik *Define >Load Case >Modal*.
- 3) Selanjutnya pilih *Modify/Show Load Case* dan cantumkan jumlah mode yang akan digunakan dalam *Number of Modes* serta klik *OK*.
- 4) Pilih respons spektrum yang akan digunakan *Define >Functions >Response Spectrum*.
- 5) Ada banyak fungsi yang akan dipilih, namun dalam penelitian ini digunakan SNI 03-1726-2002. Oleh karena itu, pilih *User Spectrum >Add New Function*. Tulis *Function Name*, *Period* dan *Acceleration* yang akan digunakan. Klik *OK*.
- 6) Buat *Load Case* untuk respons spektrum dengan memilih *Define >Load Case*.
- 7) Selanjutnya *Add New Load Case* dan tulis *Load Case Name* serta pilih *Load Case Type >Response Spectrum*. Pilihlah *Modal Combination* dan *Directional Combination* yang akan digunakan. Pada *Loads Applied* pilih *Load Type*, *Load Name*, *Function* serta *Scale Factor* yang akan digunakan. Klik *Add* dan jangan lupa untuk memilih *Modal Damping* yang akan digunakan. Klik *OK*.
- 8) Analisa dilakukan dengan pilih *Analyze >Set Analysis Options*. Pilihlah *Plane Frame* dan klik *OK*.
- 9) Klik *Analyze >Run Analysis >Run Now*.
- 10) Untuk menampilkan reaksi-reaksi pada perletakan pilih *Display >Show Forces/Stresses >Joints*. Pilih *Case/Combo Name* yang akan digunakan lalu klik *OK*.
- 11) Untuk melihat perubahan struktur pilih *Display >Show Deformed Shape >Joints*. Pilih *Case/Combo Name* yang akan digunakan lalu klik *OK*.
- 12) Untuk melihat besarnya nilai simpangan horisontal struktur yang terjadi pilih *Display >ShowTables >Analysis Results >Joint Output >Displacements*. Pilih

Load Cases yang akan digunakan lalu klik *OK*.



Gambar 2. Bagan alir perhitungan simpangan horisontal struktur

HASIL PERHITUNGAN

Tabel 1. Simpangan lateral dengan perhitungan manual

JUMLAH TINGKAT	TINGKAT KE-	SIMPANGAN (cm)
2	1	1,3344
	2	2,1419
3	1	1,9475
	2	3,4900
	3	4,3338
4	1	2,3840
	2	4,4669
	3	6,0019
	4	6,8095
5	1	2,3972
	2	4,5859
	3	6,3981
	4	7,6923
	5	8,3621
6	1	2,4010
	2	4,6461
	3	6,6132
	4	8,2017
	5	9,3192
	6	9,8927
7	1	2,4006
	2	4,6779
	3	6,7380
	4	8,5066
	5	9,9169
	6	10,9014
	7	11,4043
8	1	2,3981
	2	4,6948
	3	6,8139
	4	8,6984
	5	10,2993
	6	11,5677
	7	12,4493
	8	12,8985
9	1	2,3946
	2	4,7030
	3	6,8616
	4	8,8240
	5	10,5534
	6	12,0147
	7	13,1687
	8	13,9690
	9	14,3760
10	1	2,3947
	2	4,7115
	3	6,8980
	4	8,9155
	5	10,7351
	6	12,3313
	7	13,6768
	8	14,7379
	9	15,4730
	10	15,8464

analisa yang dipaparkan sebelumnya, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 2. Simpangan lateral struktur dengan menggunakan Program SAP 2000

JUMLAH TINGKAT	TINGKAT KE-	SIMPANGAN (cm)
2	1	0,6033
	2	1,1927
3	1	0,9758
	2	2,1769
	3	2,8838
4	1	1,3448
	2	3,1679
	3	4,5707
	4	5,3205
5	1	1,5368
	2	3,7123
	3	5,6012
	4	6,9368
	5	7,6318
6	1	1,5458
	2	3,7823
	3	5,8399
	4	7,4974
	5	8,6408
	6	9,2329
7	1	1,5490
	2	3,8196
	3	5,9769
	4	7,8316
	5	9,2934
	6	10,2935
	7	10,8132
8	1	1,5589
	2	3,8628
	3	6,0947
	4	8,0859
	5	9,7654
	6	11,0791
	7	11,9765
	8	12,4468
9	1	1,5679
	2	3,8974
	3	6,1822
	4	8,2673
	5	10,0962
	6	11,6289
	7	12,8252
	8	13,6444
	9	14,0793
10	1	1,5766
	2	3,9281
	3	6,2542
	4	8,4083
	5	10,3436
	6	12,0315
	7	13,4439
	8	14,5478
	9	15,3073
	10	15,7168

Validasi Perhitungan

Validasi dilakukan dengan menggunakan Program SAP 2000 dengan langkah-langkah

PEMBAHASAN

Dari hasil analisa, simpangan lateral struktur dengan menggunakan program SAP 2000 lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan manual. Hal ini disebabkan karena perbedaan nilai konstanta-konstanta vektor ragam getar. Konstanta-konstanta vektor ragam getar pada perhitungan manual lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan menggunakan SAP 2000.

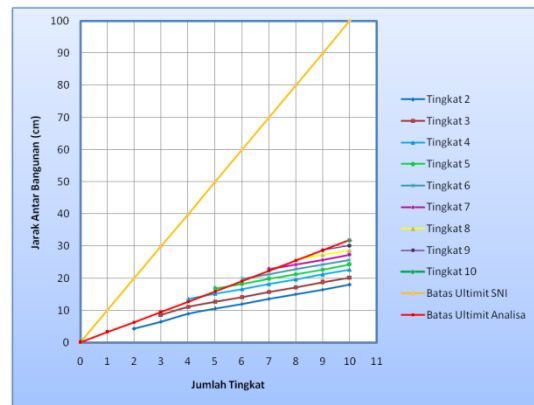
Dari dua nilai simpangan lateral struktur yang ada, jarak antar dua bangunan gedung bertingkat yang bersebelahan dapat diperoleh dengan menjumlahkan simpangan maksimum pada dua bangunan bertingkat yang ditinjau, sehingga diperoleh hasil yang diberikan pada Tabel 2.

Jarak pemisah antar gedung yang diperoleh baik dengan perhitungan manual maupun dengan menggunakan program berada pada batas aman, sesuai pada persyaratan yang telah ditetapkan dalam Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung, SNI 03-1726-2002 (Gambar 3).

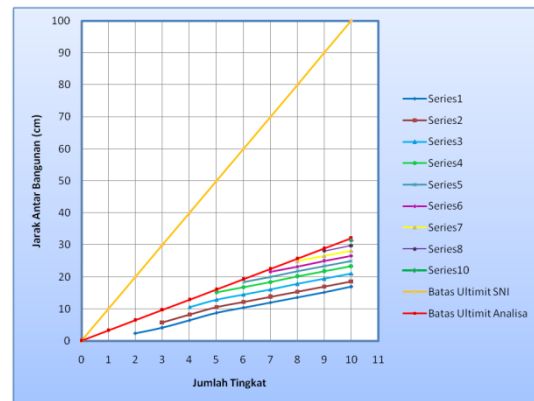
Tabel 3. Jarak minimum antara dua bangunan gedung bertingkat yang bersebelahan

Bangunan 1 (Jumlah Tkt)	Bangunan 2 (Jumlah Tkt)	Jarak Minimum (cm)	
		Manual	Program
2	2	4,2838	2,3854
	3	6,4756	4,0765
	4	8,9514	6,5132
	5	10,5040	8,8245
	6	12,0346	10,4256
	7	13,5462	12,0059
	8	15,0404	13,6395
	9	16,5178	15,2720
3	3	8,6675	5,7676
	4	11,1433	8,2043
	5	12,6959	10,5156
	6	14,2264	12,1167
	7	15,7381	13,6970
	8	17,2323	15,3306
	9	18,7097	16,9631
	10	20,1802	18,6006
4	4	13,6191	10,6410
	5	15,1716	12,9523
	6	16,7022	14,5534
	7	18,2139	16,1337
	8	19,7080	17,7673
	9	21,1855	19,3998
	10	22,6560	21,0373

Bangunan 1 (Jumlah Tkt)	Bangunan 2 (Jumlah Tkt)	Jarak Minimum (cm)	
		Manual	Program
5	5	16,7242	15,2636
	6	18,2548	16,8647
	7	19,7664	18,4450
	8	21,2606	20,0786
	9	22,7381	21,7111
	10	24,2085	23,3486
6	6	19,7854	18,4658
	7	21,2970	20,0461
	8	22,7912	21,6797
	9	24,2687	23,3122
	10	25,7391	24,9497
7	7	22,8087	21,6264
	8	24,3028	23,2600
	9	25,7803	24,8925
	10	27,2508	26,5300
8	8	25,7970	24,8936
	9	27,2745	26,5261
	10	28,7449	28,1636
9	9	28,7519	28,1586
	10	30,2224	29,7961
10	10	31,6929	31,4336



Gambar 3. Jarak minimum antar dua bangunan gedung bertingkat dengan perhitungan manual



Gambar 4. Jarak minimum antar dua bangunan gedung bertingkat dengan menggunakan SAP 2000

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan yang dilakukan, maka ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan model yang ditinjau, semakin tinggi suatu bangunan bertingkat, maka semakin besar simpangan lateral yang terjadi. Dari hasil perhitungan struktur diperoleh simpangan lateral terbesar terjadi pada tinggi bangunan 40 m yaitu 18,1362 cm dengan perhitungan manual dan 14,114 cm dengan perhitungan menggunakan program SAP 2000.
2. Dari hasil analisa yang dilakukan diperoleh jarak pemisah antar dua bangunan gedung bertingkat yang bersebelahan sebesar 36,2725 cm sehingga syarat batas untuk jarak pemisah optimal antar dua bangunan

gedung bertingkat yang bersebelahan adalah 0,008 kali tinggi bangunan.

3. Persentase perbedaan yang diperoleh dari perhitungan manual dan perhitungan dengan menggunakan Program SAP 2000 sebesar 10,68 %.

Saran

1. Syarat jarak pemisah minimum antar bangunan gedung bertingkat yang digunakan SNI 03-1726-2002 terlalu besar dan perlu ditinjau kembali.
2. Perlu diteliti lebih lanjut dengan pemodelan 3 dimensi.
3. Dalam mendesain dua bangunan bertingkat banyak yang bersebelahan, perlu dihindari jarak pemisah yang lebih kecil dari syarat batas yang ada, untuk menghindari benturan yang dapat mengakibatkan kerusakan-kerusakan pada struktur.

DAFTAR PUSTAKA

- Chopra A. K.,1995. *Dynamics of Structures, Theory And Applications to Earthquake Engineering*, Prentice Hall International, Inc.
- Clough R. W. dan Penzien J.,1988. *Dinamika Struktur, Jilid Satu*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum., 1987. *Pedoman Perencanaan Pembebanan untuk Rumah dan Gedung (PPPURG)*, Yayasan Badan Penerbit PU.
- Elnashai Amr. S. dan Sarno L., 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*, Wiley.
- Ghali A. dan Neville A. M., 1986. *Analisa Struktur (Gabungan Metode Klasik dan Matriks),Edisi Kedua*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Naeim F., 1989.*The Seismic Design Handbook*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP) Recommended Provisions for Seismic Regulation for New Buildings and Other Structures, 1997 Edition, Part 1 – Provisions, Part 2 – Commentary; FEMA 302.*
- Paz M., 1993. *Dinamika Struktur (Teori dan Perhitungan)*, Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Schueller W., 2001. *Struktur Bangunan Tingkat Tinggi*, Refika Aditama, Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia (SNI), 2002. *SNI 03-1726-2002 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Bangunan Gedung*, Badan Standarisasi Nasional (BSN).
- Sunggono V, Kh., (1995). *Buku Teknik Sipil*, Penerbit Nova, Bandung.