



ANALISA DINAMIS PADA PORTAL GEDUNG BERTINGKAT TERHADAP BEBAN GEMPA SESUAI SNI 1726:2019 WILAYAH KOTA PALU

Arzal M. Zain*¹, Eko Widodo¹, Moh. Nugar Arlangga¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Palu, Palu, Jalan Hang Tuah No. 114

Penulis korespondensi: achal1808@gmail.com

DISUBMIT 17 Desember 2023

DIREVISI 15 Juni 2024

DITERIMA 19 Juni 2024

ABSTRAK Pemanfaatan ilmu pengetahuan bidang teknik sipil dari hari ke hari semakin tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan masyarakat, terutama pada suatu daerah yang maju, di mana terjadi kepadatan penduduk, kelangkaan lahan dan harga lahan yang tinggi, sebagai salah satu alternatif untuk hal tersebut dipergunakan bangunan bertingkat banyak. Getaran permukaan tanah akibat gempa sering kita rasakan yang mempunyai dampak pada struktur gedung bertingkat dan merupakan bukti nyata, bahwa negara kita sebagian besar berada di daerah wilayah gempa. Menurut pedoman perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung (SNI 1726:2019) analisa dinamis dapat dilakukan dengan analisa ragam spektrum respons. Struktur bangun penahan geser hanya memperhitungkan gaya horizontal dan defleksi lateral. Besarnya perpindahan, bentuk perubahan struktur tergantung pada besar kecilnya nilai perbandingan antara massa dan kekakuan kolom. Metode matriks sangat berperan dalam menentukan *Cicular Natural Frequency* (ω) dan bentuk perubahan struktur (*mode shape*) dan mode superposisi berperan untuk mensuperposisikan antara gaya-gaya yang bekerja dengan perpindahan ke bentuk yang lebih sederhana. Pada dasarnya gaya gempa yang sebenarnya sangat sulit untuk diramalkan, namun analisa pendekatan untuk mendapatkan gaya gempa rencana yang mampu dipikul oleh struktur.

KATA KUNCI Dinamis; Spektrum Respons; Matriks; Superposisi

1 LATAR BELAKANG

Pemanfaatan ilmu pengetahuan bidang teknik sipil dari hari ke hari semakin tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan masyarakat, terutama pada suatu daerah yang maju, di mana terjadi kepadatan penduduk, kelangkaan lahan dan harga lahan yang tinggi, sebagai salah satu alternatif untuk hal tersebut dipergunakan bangunan bertingkat banyak. Getaran permukaan tanah akibat gempa sering kita rasakan yang mempunyai dampak pada struktur gedung bertingkat dan merupakan bukti nyata, bahwa negara kita sebagian besar berada di daerah wilayah gempa. Olehnya itu dalam merencanakan struktur, di samping efisien juga harus teliti, apalagi terhadap beban gempa, karena bentuk maupun besar getaran permukaan tanah saat terlanda gempa masih merupakan suatu hal yang sulit diramalkan. Pada umumnya perencanaan struktur gedung bertingkat sudah cukup kuat terhadap beban vertikal dibanding terhadap beban lateral.

Namun perkembangan-perkembangan terakhir dengan analisa dinamis untuk suatu struktur gedung bertingkat terhadap beban gravitasi memungkinkan. Analisa dan perencanaan struktur gedung bertingkat seperti yang dimaksud di atas dipengaruhi beban-beban dinamis dan statis termaksud pula dengan gaya-gaya inersia yang bergantung pada waktu. Cara ini dimungkinkan oleh penggunaan struktur rangka kaku dengan anggapan-anggapan dan model matematik yang lebih disederhanakan Metode analisa *spectrum respon*, guna memenuhi perencanaan struktur yang efisien dan teliti.

Pada tahun 2019 standar baru tentang tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung telah diperbarui, yaitu SNI 1726:2019. Dalam SNI tersebut disebutkan bahwa respons struktur akibat beban gempa yang terjadi dapat dianalisis dengan analisis statik ekuivalen, analisis spektrum respon, dan analisis riwayat waktu (*Time History*).

Oleh karena itu penulis tertarik untuk menganalisis struktur bangunan dengan portal bidang yang menggunakan analisa dinamis. Pemilihan portal bidang merupakan struktur dasar, disebabkan oleh keinginan penulis untuk mengaplikasikan analisa dinamis pada struktur yang sederhana terlebih dahulu sebagai jembatan pada studi yang lebih lanjut terhadap struktur-struktur yang rumit dan kompleks, yang mana dalam penelitian ini dipakai rekaman gempa yang telah disesuaikan dengan respons spektrum desain Kota Palu.

2 MAKSUD DAN TUJUAN PENELITIAN

- a. Maksud dari penulisan ini adalah untuk menganalisis struktur gedung bertingkat terhadap gempa secara teliti.
- b. Tujuan dari penulisan ini adalah untuk memahami lebih jauh tentang analisa dinamis, serta mengetahui sejauh mana pengaruh gaya gempa pada struktur dengan cara analisa dinamis.

3 TINJAUAN PUSTAKA

Berdasarkan hasil penelitian tentang Analisa dinamis pada portal gedung bertingkat terhadap beban gempa dengan mengambil kesimpulan yaitu: [1]

- a. Struktur bangunan penahan geser hanya memperhitungkan gaya horizontal dan defleksi lateral.
- b. Besarnya perpindahan, bentuk perubahan struktur tergantung pada besar kecilnya nilai perbandingan antara massa kekakuan kolom.
- c. Metode matriks sangat berperan dalam menentukan *circular Natural Frequency* (ω) dan bentuk perubahan struktur (*mode shape*) dan metode superposisi berperan untuk mensuperposisikan antara gaya-gaya yang bekerja dengan perpindahan ke bentuk yang lebih sederhana.

Berdasarkan hasil penelitian tentang Evaluasi kekakuan metode klasik kaitannya dengan hasil paket program dan implikasinya terhadap respons struktur bangunan bertingkat dengan mengambil kesimpulan yaitu: [2]

Implikasi dari setiap struktur yang diberikan beban gaya gempa horizontal dari analisis dinamik response spektra terbukti menimbulkan *displacement*, momen balok, dan aksial kolom yang lebih besar pada struktur dibandingkan pembebanan gempa dengan analisis ekivalen statik. Momen balok, dan aksial kolom terbesar terletak pada tingkat-tingkat bagian bawah hal ini menunjukkan bahwa balok dan kolom pada tingkat bawah memiliki risiko kegagalan struktur yang lebih tinggi. Pola hasil respons struktur seperti *displacement*, momen balok dan aksial kolom mengikuti pola distribusi gaya gempa horizontal yang diberikan pada setiap struktur tingkat, di mana semakin besar gaya yang diberikan maka akan semakin besar pula *displacement*, momen balok dan aksial kolom yang didapatkan.

Berdasarkan hasil penelitian tentang Analisa dinamis gaya gempa pada bangunan berdasarkan SNI 03-1726 2012 dengan mengambil kesimpulan yaitu: [3]

- a. Berdasarkan SNI 2847:2013 dan *respon spectrum* yang tepat sesuai lokasi struktur dibangun, maka diperoleh luas tulangan longitudinal yang lebih ekonomis dan aman serta tetap tahan gempa yaitu lantai 1 sampai dengan 5, dimensi kolom 600 mm x 600 mm dengan penulangan 32 D25.
- b. Nilai simpangan (*displacement*) terbesar adalah 66,36 mm untuk arah x dan terkecil adalah 22,01 mm untuk arah y di mana simpangan ijin sebesar 76,8 mm.

4 LANDASAN TEORI

Gempa bumi merupakan getaran yang bersifat alamiah yang disebabkan oleh adanya pergerakan kerak bumi (lempeng bumi) yang menghasilkan energi gelombang yang diteruskan oleh media tanah sampai ke permukaan tanah. Tanah yang bergetar akibat gempa akan mengakibatkan bangunan yang berada di atasnya akan ikut bergetar. Kerusakan bangunan sering terjadi akibat peristiwa gempa bumi, khususnya pada daerah-daerah tertentu.

Selama gempa bumi bangunan mengalami gerakan vertikal dan gerakan horizontal [4]. Gaya inersia atau gaya gempa, baik dalam arah vertikal maupun horizontal, akan timbul di titik-titik pada massa struktur. Dari kedua gaya ini, gaya dalam arah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi (*gravity*) yang bekerja pada struktur, sedangkan struktur biasanya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang memadai. Oleh karena itu, struktur umumnya jarang sekali runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya, gaya gempa horizontal menyerang titik-titik lemah pada struktur yang kekuatannya tidak memadai dan akan langsung menyebabkan keruntuhan/kegagalan (*failure*).

Struktur bangunan normal (gedung perkantoran, bangunan sekolah, toko, dan sebagainya), pada umumnya tidak perlu di desain untuk menahan gaya gempa kuat dengan respons elastik tanpa mengalami kerusakan [5]. Bila struktur berespons elastik, maka diperlukan dimensi dan kekuatan struktur yang besar dan bernilai tidak ekonomis.

Oleh sebab itu, pada saat gempa kuat terjadi risiko kerusakan tidak sampai menyebabkan keruntuhan struktur pada tingkat desain tertentu. Dengan Landasan di atas, maka kerusakan struktur pada saat gempa kuat berlangsung harus didesain sehingga menjadi bangunan tahan gempa yaitu bangunan yang mampu bertahan dan tidak runtuh jika terjadi gempa. Filosofi bangunan tahan gempa adalah sebagai berikut: [6]

- 1) Pada gempa kecil (*light*, atau minor *earthquake*) yang sering terjadi, maka struktur utama bangunan harus tidak rusak dan berfungsi dengan baik. Kerusakan kecil yang masih dapat ditoleransi pada elemen non struktur masih dibolehkan,
- 2) Pada gempa menengah (*moderate earthquake*) yang relatif jarang terjadi, maka struktur utama bangunan boleh rusak/retak ringan tapi masih dapat diperbaiki. Elemen non struktur dapat saja rusak tetapi masih dapat diganti yang baru.

- 3) Pada gempa kuat (*strong earthquake*) yang jarang terjadi, maka bangunan boleh rusak tetapi tidak boleh runtuh total (*totally collapse*). Kondisi seperti ini juga diharapkan pada gempa besar (*great earthquake*), yang tujuannya adalah melindungi manusia/penghuni bangunan secara maksimum.

Dalam menganalisis struktur pada umumnya adalah tidak mudah dan tidak selalu dapat ditemukan solusi matematis yang tepat untuk masalah teknik, akan tetapi tergantung pada bentuk dan jenis beban yang bekerja pada struktur tersebut. Pada dasarnya beban yang bekerja terhadap struktur terdiri dari beban tetap dan beban sementara.

Beban gempa merupakan salah satu beban sementara yang solusinya agak rumit, karena bekerja secara berulang-ulang (dinamis) pada struktur gedung. Massa gedung mengalami pergerakan dan dari pergerakan ini timbul gaya gempa yang mengakibatkan terjadinya perpindahan pada koordinat struktur. Dengan demikian solusi didapat dengan anggapan dan idealisasi yang sesuai guna dapat menguasai penyelesaian matematis yang diperlukan.

Dasar-Dasar Analisa. Dalam perencanaan suatu struktur gedung bertingkat terhadap gempa dikenal dua cara analisa menurut pedoman perencanaan ketahanan gempa untuk rumah dan gedung (SNI 1726:2019), yaitu: 1) Analisa statis ekuivalen; 2) Analisa dinamis.

Bangunan sipil sebagian besar dapat direncanakan dengan baik dan memakai anggapan bahwa beban gempa yang dipikul adalah suatu beban statis, namun demikian beban gempa adalah merupakan beban dinamis yaitu suatu beban yang berubah-ubah sesuai dengan waktu. Analisa statis ekuivalen hanya dapat dipergunakan untuk struktur-struktur yang beraturan. Sedangkan analisis dinamis harus dilakukan untuk gedung-gedung yang menurut pedoman perencanaan gempa untuk rumah dan gedung (SNI 1726:2019), sebagai berikut:

- a) Gedung-gedung yang strukturnya sangat tidak beraturan.
- b) Gedung-gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata.
- c) Gedung-gedung dengan kekakuan tingkat yang tidak merata.
- d) Gedung-gedung yang tingginya lebih dari 40 meter.
- e) Gedung-gedung yang bentuk, ukuran dan penggunaannya tidak umum.

Walaupun demikian, struktur-struktur gedung yang beraturan dapat di analisa dengan analisa dinamis apabila diinginkan, karena dengan statis:

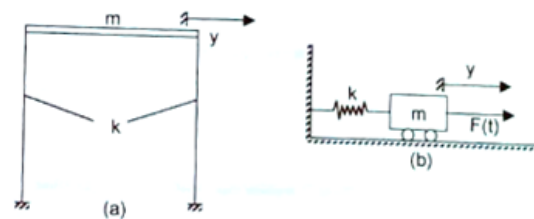
- a) Analisa dinamis akan memberikan hasil yang lebih teliti dan efisien dibanding analisa statis ekuivalen.
- b) Selain berat sendiri sebenarnya tidak ada satu beban pun dapat dikatakan statis.

Beban dinamis ditimbulkan oleh gaya gempa, angin yang tidak tetap, ledakan, mesin torak atau kejut (*impact*) akibat beban bergerak. Masalah dinamis akan dibahas sekarang ini yang gayanya tergantung pada waktu dan menyebabkan getaran pada struktur, jadi kita perlu memperhitungkan gaya akibat inersia massa yang mempunyai percepatan. Untuk itu, kita gunakan Hukum Gerak Newton kedua yang menyatakan bahwa hasil kali massa dan percepatannya sama dengan gaya.

Suatu struktur elastis yang diganggu dari keadaan seimbangnya oleh pemberian dan penghilangan gaya akan bergetar terhadap posisi keseimbangan statisnya. Jadi perpindahan di suatu titik pada struktur akan bervariasi secara periodik antara batas tertentu dalam segala arah. Jarak antara batas ini dan posisi seimbang disebut amplitudo getaran. Bila tidak ada gaya luar disebut getaran bebas, dan akan berlangsung terus dengan amplitudo yang tetap. Gerak selama periode pemberian beban luar disebut gerak gaya (*forced motion*). Ini bisa berupa gerak gaya terendam atau tak terendam, yang tergantung pada ada atau tidaknya gaya penahan. Dengan adanya gerakan akibat gaya, maka struktur akan mengalami perpindahan, dan

struktur akan di analisa dengan analisa sistim dasar, yaitu struktur yang dimodifikasikan sebagai sistim dengan koordinat perpindahan tunggal.

Persamaan Gerak. Pada umumnya struktur-struktur yang akan ditinjau selalu dapat di idealisasikan sebagai hubungan massa dan pegas sebagaimana pada Gambar 1 ini yang menunjukkan suatu balok yang mempunyai massa (m) dan terletak di atas dua tumpuan, massa (m) di hambat oleh pegas k dan bergerak menurut garis lurus sepanjang satu sumber koordinat. Massa diambil dari berat bangunan dibagi oleh percepatan gravitasi dan konstanta pegas k dicari dari kekakuan struktur bersangkutan, yaitu dengan mencari gaya yang dibutuhkan untuk menyebabkan pergeseran/perpindahan.



Gambar 1 (a) Uraian gaya-gaya pada portal yang diidealisasikan sebagai massa dan pegas (b) Model matematis portal yang diidealisasikan

Dengan mengambil model matematis pada Gambar 1 dianggap bahwa tiap elemen dalam sistem menyatakan satu sifat khusus, yaitu massa m yang hanya menyatakan sifat khusus inersia, pegas k menyatakan elastisitas dan gaya $F(t)$ menyatakan gaya luar sebagai fungsi waktu.

Berdasarkan Gambar 1 Hukum gerak newton kedua dapat dipergunakan untuk menentukan gaya inersia tersebut yang diberi notasi FI dan gaya pegas FS .

Dan sistim pada Gambar 1 persamaan geraknya dapat dicari dengan menggunakan persamaan kesetimbangan gaya sebagai berikut: [7]

$$FI + FS = F(t) \tag{1}$$

Di mana, $FI = m\ddot{y}$ dan $FS = ky$. Atau ditulis dalam bentuk matriks:

$$[FI] = [m][\ddot{y}] \quad (2)$$

$$[FS] = [k][y] \quad (3)$$

Sehingga persamaan gerak menjadi:

$$[m][\ddot{y}] + [k][y] = [F(t)] \quad (4)$$

Getaran Bebas. Bila ditinjau kondisi getaran bebas (*free vibration*), maka struktur sama sekali tidak dipengaruhi gaya luar dan gerakannya hanya dipengaruhi oleh kondisi awal suatu keadaan di mana perlu menentukan gerak dari struktur pada kondisi getaran bebas, meskipun kondisi ini jarang dijumpai.

Frekuensi Natural Pola Normal. Masalah getaran bebas memerlukan vektor gaya $\{F\}$ yang sama dengan nol untuk formula kekakuan dengan, [8]

$$[m][\ddot{y}] + [k][y] = 0 \quad (5)$$

Untuk gerak bebas struktur tak terendam, dicari solusi persamaan alam bentuk: $y_i = a_i \sin(\omega_t - \alpha)$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ atau dalam notasi vektor

$$\{y\} = \{a\} \sin(\omega_t - \alpha) \quad (6)$$

Di mana amplitudo gerak dari koordinat ke- i dan n adalah jumlah kebebasan. Substitusi persamaan (6) ke dalam persamaan (5) memberikan: $-\omega^2[m]\{a\} \sin(\omega_t - \alpha) + [k]\{a\} \sin(\omega_t - \alpha) = 0$, atau diatur kembali dalam matriks

$$[\{k\} - \omega^2\{m\}]\{a\} = 0 \quad (7)$$

Yang untuk kondisi umum kumpulan n buah sistem aljabar homogen dari persamaan linear dengan n besar perpindahan a_i yang tak diketahui dan sebuah parameter ω^2 , yang juga tak diketahui. Formulasi persamaan (7) adalah masalah matematis yang penting, yang dikenal sebagai "eigen problem". Solusi nontrivialnya, yaitu solusi di mana tidak semua harga $(a_i) = 0$, memerlukan determinan dari faktor-faktor matriks $\{a\}$ sama dengan nol, untuk itu hal ini

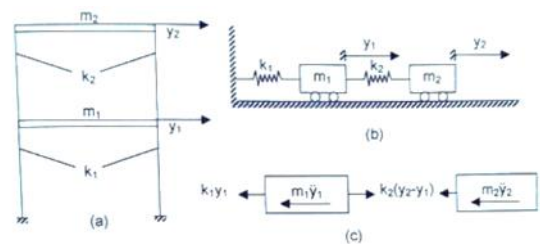
$$|[k] - \omega^2[m]| = 0 \quad (8)$$

Pada umumnya jawaban persamaan (8) mempunyai bentuk persamaan polinomial derajat n dalam besaran ω^2 , yang memenuhi persamaan (8) tersebut. Polinomial ini dikenal sebagai persamaan karakteristik (*characteristic equations*) dari sistim, di mana setiap harga ω^2 yang memenuhi persamaan karakteristik (8), kita dapat menyelesaikan persamaan (8) untuk mendapatkan konstanta-konstanta a_1, a_2, \dots, a_n .

Sifat Ortogonalitas dan Pola Normal.

Sekarang akan dibahas sifat yang penting dari pola normal (*normal mode*) yaitu sifat ortogonalitas. Sifat ini merupakan dasar dari metode yang paling baik untuk penyelesaian masalah sistem berderajat kebebasan banyak, seperti pada Gambar 2 Kita mulai dengan menulis kembali persamaan gerak getaran bebas seperti pada Persamaan (7) yaitu: [8]

$$[k]\{a\} = \omega^2\{m\}\{a\} \quad (9)$$



Gambar 2 (a) Bangunan penahan geser tingkat dua (b) Model matematis sejumlah massa-berpegas untuk bangunan penahan geser tingkat dua (c) Diagram free body

Beban Gempa pada Struktur Gedung Beringkat.

Dari berbagai pengalaman yang telah terjadi atas kerusakan bangunan gedung akibat terlanda gempa, maka para ahli bangunan menganalisis gaya-gaya di dalam bagian struktur gedung. Gempa menggoncang gedung pada tiga arah dimensi, yaitu dua arah horizontal dan satu arah vertikal. Besarnya gaya vertikal kadang-kadang sampai dua pertiga gaya horizontalnya. Walaupun demikian biasanya gaya vertikal itu dianggap tidak ada dengan alasan :

- a. Pembesaran gaya batang akibat beban gempa vertikal tidak begitu berpengaruh karena pemberian angka keamanan pada

beban mati dan beban hidup yang sudah cukup besar.

- b. Bentuk struktur umumnya sudah kuat terhadap beban vertikal, namun kurang kuat terhadap beban horizontal.

5 METODE PENELITIAN

Suatu konstruksi nyata yang ada, pada umumnya akan terdiri dari banyak bagian yang kompleks seperti struktur tahan gempa. Konstruksi-konstruksi demikian sudah sangat sulit diselesaikan hanya dengan memakai persamaan-persamaan kesetimbangan, diidealisasi, dengan harapan agar dapat diselesaikan berdasarkan analisa matematik yang sederhana, yaitu sedapat mungkin dalam hubungan persamaan-persamaan yang linear. Untuk metode matematik yang akan digunakan dalam penyelesaian analisa adalah metode matriks untuk menentukan eigen vektor dan eigen value, metode superposisi untuk menyederhanakan sistem derajat kebebasan banyak menjadi sistem derajat kebebasan tunggal.

Berikut uraian dari kedua metode tersebut :

1. Metode Aljabar Matriks. Aljabar matriks digunakan dalam analisa struktur atas dua alasan. Pertama matriks bisa menyatakan suatu himpunan besaran aljabar atau numerik dengan simbol tunggal, jadi notasi matriks boleh dianggap sebagai penyingkatan tulisan.

2. Metode Superposisi. Prinsip ini menyatakan bahwa perpindahan akibat beberapa gaya yang bekerja secara serentak sama dengan jumlah perpindahan akibat masing-masing gaya yang bekerja secara terpisah.

Aspek Perencanaan Terhadap Gempa : 1. Kategori Risiko Struktur Bangunan dan Faktor Keutamaan. Kategori risiko bangunan berkaitan dengan tingkat risiko yang diperbolehkan pada bangunan yang direncanakan sesuai peruntukannya. Untuk ketentuannya dapat dilihat pada SNI 1726-2019 pasal 4.1.2. Masing-masing kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung tersebut pengaruh gempa rencana

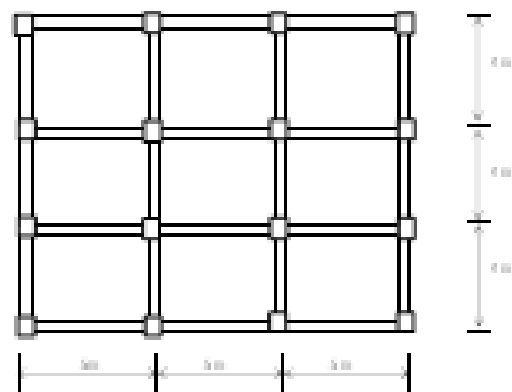
terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan I_e . Nilai I_e berdasarkan kategori risiko bangunan dapat dilihat pada Tabel 1. **2. Sistem Struktur.** Sistem struktur yang digunakan harus sesuai dengan batasan sistem struktur dan batasan ketinggian struktur yang di izinkan. Faktor R , C_d , dan Ω_0 untuk sistem penahan beban lateral. **3. Parameter Percepatan Gempa.** Parameter percepatan gempa yang digunakan adalah percepatan batuan dasar pada periode pendek (S_s) pada 0,2 detik dan percepatan batuan dasar pada periode 1 detik (S_1) dengan probabilitas terlampaui 2% dalam 50 tahun. Penggunaan percepatan 0,2 detik dan 1 detik dikarenakan pada interval 0,2 detik sampai 1 detik mengandung energi gempa terbesar. Nilai S_s dan S_1 dapat dilihat pada Gambar 4 dan Gambar 5, sebagai berikut.

Tabel 1 Faktor keutamaan gempa

Kategori risiko	Faktor keutamaan gempa, I_e
I atau II	1,0
III	1,25
IV	1,5

6 JENIS DAN DATA-DATA BANGUNAN

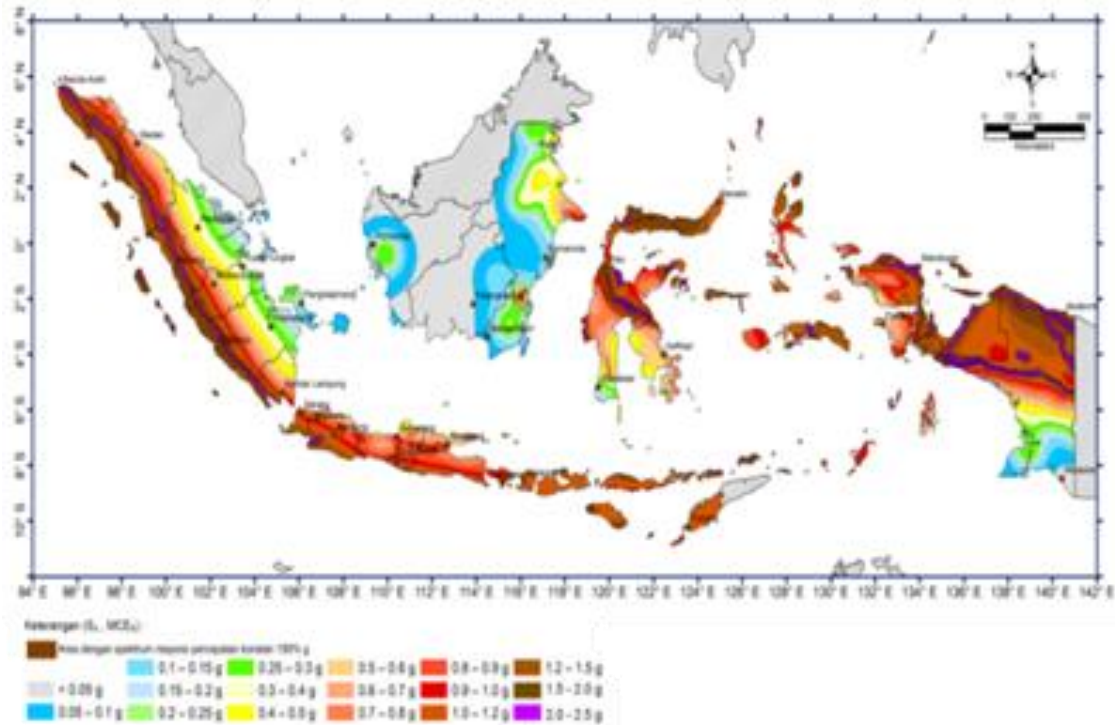
Penggunaan Teori Pada Portal Bidang. Diketahui struktur portal bidang bangunan penahan geser seperti pada Gambar 3 dan Gambar 6.



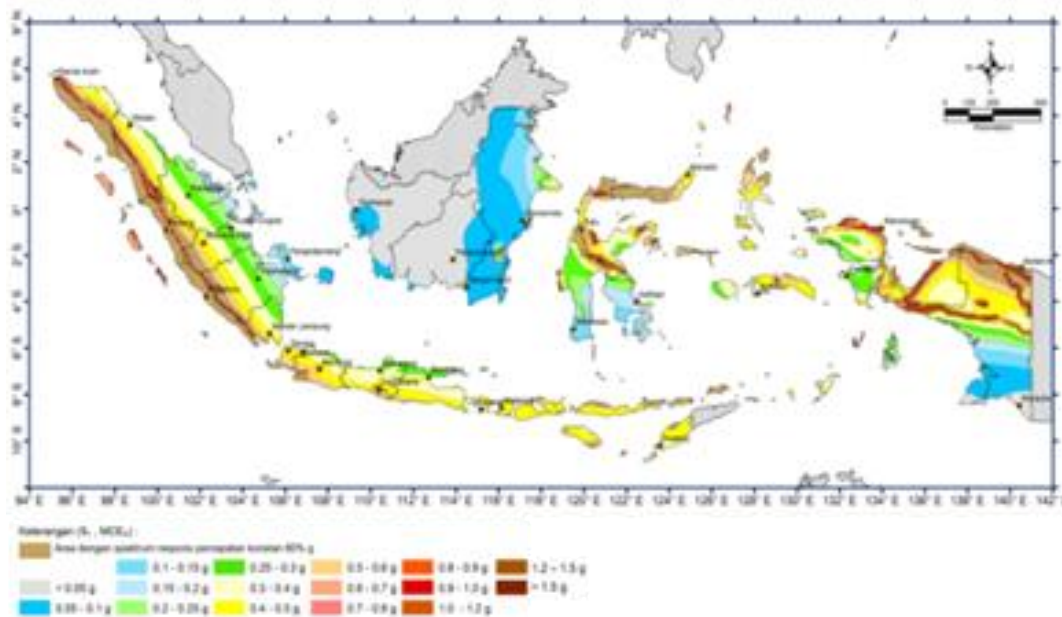
Gambar 3 Denah portal

Ukuran balok = 30 x 60 cm, Tebal plat atap = 10 cm, Tebal plat lantai = 12 cm, Kolom tingkat 1 dan 2 = 70 x 70 cm, Kolom tingkat 3, 4 dan 5 = 50 x 50 cm, Beban hidup atap = 100 kg/m², Beban hidup untuk semua lantai = 200 kg/m², dan struktur terletak di daerah

gempa wilayah kota Palu dengan kondisi tanah lunak.



Gambar 4 S₂ Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget (MCE_r) kelas situs SB



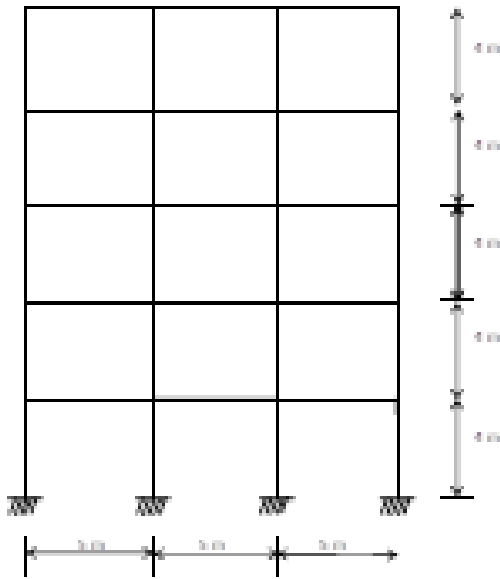
Gambar 5 S₁ Gempa maksimum yang dipertimbangkan risiko-tertarget, kelas situs SB

7 HASIL DAN PEMBAHASAN

Menghitung berat bangunan (W). a) Berat lantai 1 (W₁). Kolom 70 x 70 = 0,70 x 0,70 x 2400 x 4 x 16 = 75264 kg, Berat lantai = 0,12 x 2400 x 180 = 51840 kg, Berat adukan 3 cm = 3 x 21 x 180 = 11340 kg, Berat tegel 1 cm = 24 x 180 = 4320 kg, Berat balok arah Y = 0,3 x 0,6

x 2400x12x 4 = 20736 kg, Berat balok arah x = 0,3 x 0,6 x 2400x12 x5 = 25920 kg, Berat dinding ½ batu = 250 x 4 x 54 = 54000 kg, Beban mati = 243420 kg, Beban hidup = 8400 kg, Berat lantai 1 (W₁) = 281820 kg, Jadi untuk total bangunan (W_t) = W₁ + W₂ +W₃

$$+W4 +W5 = 281820 + 211260 + 244956 + 244956 + 165396 = 1148388 \text{ kg.}$$



Gambar 6 Potongan tipikal portal

$$\begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 \end{bmatrix}$$

Menentukan matriks kekakuan lateral [k] dan inersia kolom (I_k). I_1 dan $I_2 = (1/12)bh^3 = (1/12) \times 70 \times 70^3 = 2000833,333 \text{ cm}^4$. Mutu beton = 30 MPa, jumlah kolom $n = 16$ dan modulus elastisitas beton $E = 4700\sqrt{f'_c} = 4700\sqrt{30} = 2574,296 \text{ kg/cm}^2$, k_1 dan $k_2 = 12EI/h^3 = 12(2574,296)(28583,333/400^3) = 15452,212 \text{ kg/cm}$.

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & k_{14} & k_{15} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & k_{24} & k_{25} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} & k_{34} & k_{35} \\ k_{41} & k_{42} & k_{43} & k_{44} & k_{45} \\ k_{51} & k_{52} & k_{53} & k_{54} & k_{55} \end{bmatrix}$$

Menentukan massa ke dalam bentuk matriks diagonal [m]. $m_1 = W_1/g = 281820/980 = 287,571 \text{ kg. dt}^2/\text{cm}$.

$$-\omega^2 \begin{bmatrix} 309044235 & -154522117.4 & 0 & 0 & 0 \\ -154522117 & 194744924 & -4022337.5 & 0 & 0 \\ 0 & -4022337.5 & 8044675 & -4022337.5 & 0 \\ 0 & 0 & -4022337.5 & 8044675 & -4022337.5 \\ 0 & 0 & 0 & -4022337.5 & 4022337.5 \end{bmatrix}$$

Sehingga deteminanya:

$$A5-286,0085763 \quad A4+24931,01641 \quad A3-8,54937 \times 105 \quad A2+1,05870 \times 107 \quad A-2,37717 \times 107$$

$$\begin{bmatrix} 30085,5504 & -15452,212 & 0 \\ -15452,212 & 18860,8 & -4022,337 \\ 0 & -4022,337 & 7332,915 \\ 0 & 0 & -4022,337 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Jadi untuk mode shape 1 bisa dilihat pada Gambar 7.

Menentukan angular natural frekuensi (ω) pola getaran bebas

$$[k] - \omega^2 [m] = 0$$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -4022337.5 & 0 & 0 \\ 8044675 - 249955\omega^2 & -4022337.5 & 0 \\ -4022337.5 & 8044675 - 249955\omega^2 & -4022337.5 \\ 0 & -4022337.5 & 4022337.5 - 168771\omega^2 \end{bmatrix}$$

Menentukan mode shape

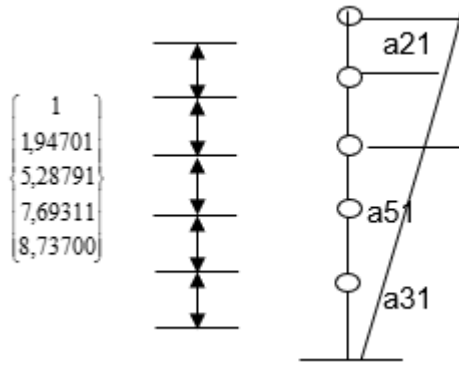
$$[k] - \omega^2 [m] \{a_{ij}\} = 0$$

Jika semua nilai untuk lantai 1 digunakan 1 satuan untuk $\omega_1 = 1,687 \text{ rad/det}$

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ -4022,337 & 0 \\ 7332,915 & -4022,337 \\ -4022,337 & 3541,753 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ a_{22} \\ a_{23} \\ a_{24} \\ a_{25} \end{Bmatrix} = 0$$

Menghitung gaya inersia berdasarkan ragam Pertama.

$$FI = m_i \times \omega^2 \times a_{ij}$$



Gambar 7 Mode Shape 1

$$F1 = 287,571 \times (1,68747)^2 \times 1 = 8181,874 \text{ kg}$$

$$Q \text{ dasar} = F1 + F2 + F3 + F4 + F5 = 8181,87424 + 613,85027 + 711,6061 + 711,6061 + 480,58471 = 336,830435$$

Menghitung waktu getar alami.

$$T = 2\pi/\omega$$

$$T_1 = 2(3,14)/1,687 = 3,721 \text{ det}$$

$$T_2 = 2(3,14)/4,631 = 1,355 \text{ det}$$

$$T_3 = 2(3,14)/6,451 = 0,970 \text{ det}$$

$$T_4 = 2(3,14)/7,584 = 0,828 \text{ det}$$

$$T_5 = 2(3,14)/12,750 = 0,492 \text{ det}$$

Menghitung beban gempa dasar.

$$V = C_s W$$

$$C_s = \frac{S_{DS}}{R} = \frac{0,8}{8} = 0,1 \text{ kg}$$

$$W = 1148388 \text{ kg}$$

$$W_t = 1148388(0,1) = 114838,8 \text{ kg}$$

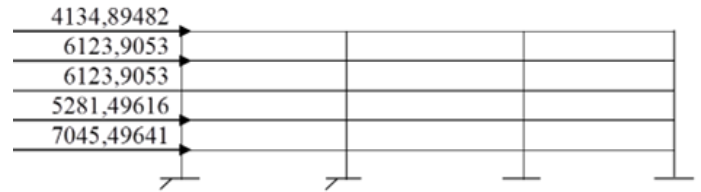
Jadi untuk portal arah x ada 5, sehingga tiap portal besarnya adalah:

$$VX = \frac{V}{4} = \frac{114838,8}{4} = 28709,7 \text{ kg}$$

Menghitung gaya gempa dasar ke masing-masing tingkat.

$$F_i = \frac{F_i}{Q_{dasar}} V_x$$

$$F_i = \frac{818,874}{3336,83} = 7045,49 \text{ kg}$$



Gambar 8 Distribusi gaya gempa lantai

Menentukan normal mode (ϕ).

$$\phi_{11} = \frac{a_1 1}{\sqrt{\sum_{k=1}^n m_k a_k j^2}}$$

$$\phi_{11} = \frac{1}{189,131} = 0,00529$$

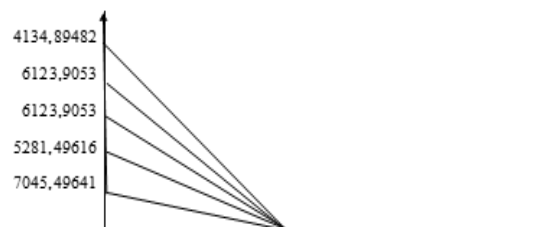
$$\phi_{21} = \frac{1,94701}{189,131} = 0,01029$$

$$\phi_{31} = \frac{5,28791}{189,131} = 0,02796$$

$$\phi_{41} = \frac{7,69311}{189,131} = 0,04068$$

$$\phi_{51} = \frac{8,73700}{189,131} = 0,04620$$

Menentukan faktor beban dinamis (DLF). Gaya gempa bekerja secara serentak dalam periode $t_d = 3,72168 \text{ det}$. Faktor beban dinamis (DLF) diperoleh Periode getar (T) dari grafik Gambar 9.



Gambar 9 Faktor beban dinamis

$$\frac{t_d}{T} = \frac{3,72168}{3,72168} = 1 \rightarrow DLF_1 = 1,55$$

Menentukan Perpindahan tempat statis (Z_{st}) dan Perpindahan dinamis (Z_{max}).

$$F_{o1} = \phi_{11}F_1 + \phi_{21}F_2 + \phi_{31}F_3 + \phi_{41}F_4 + \phi_{51}F_5 = (0,00529 \times 7045,49641) + (0,01029 \times 5281,49616) + (0,02796 \times 6123,9053) + (0,04068 \times 6123,9053) + (0,04620 \times 4134,89482) = 702,99427$$

Perpindahan tempat statis

$$Z_{st} = \frac{F_o}{\omega^2} = \frac{702,994}{1,687^2} = 246,876 \text{ mm}$$

Perpindahan tempat dinamis atau respons Pola Maksimum (Zmax)

$$Z_{maks} = DLF_i \times Z_{st(i)} = 1,55 \times 246,876 = 382,658 \text{ mm}$$

Menghitung Perpindahan total akibat gaya gempa dan selisih Perpindahan.

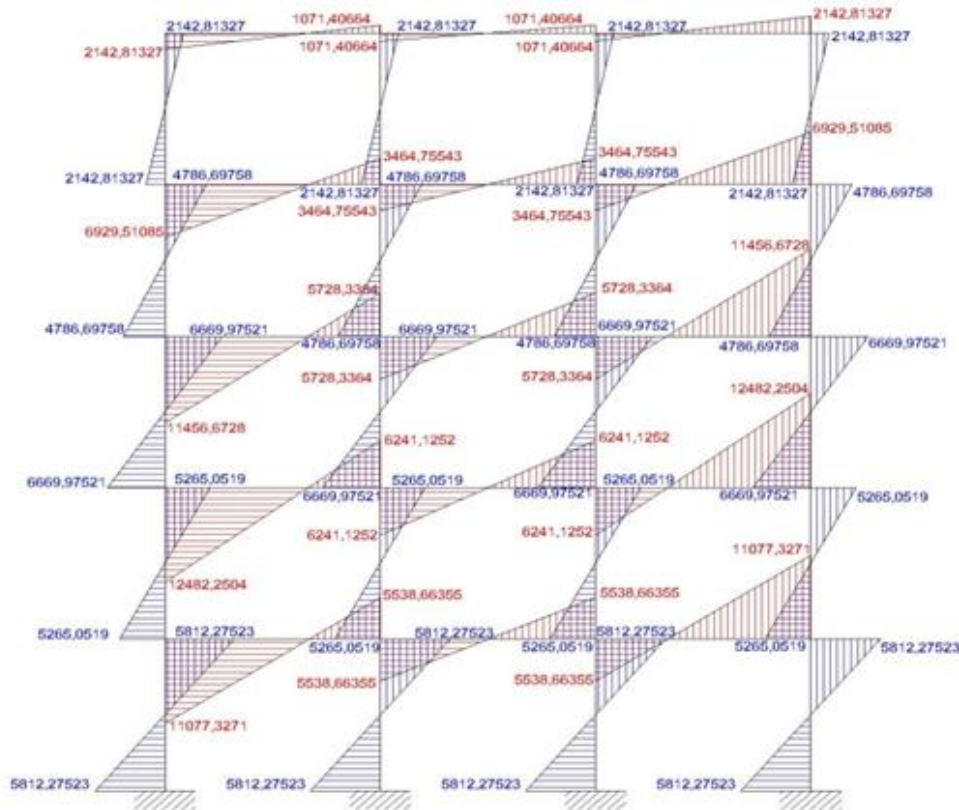
$$Y_{maks} = \sqrt{\sum(\phi_{ij} \times Z_{maks})^2}$$

$$Y_{maks} = 2,12874 \text{ mm}$$

Momen Akibat Gaya Gempa.

$$M_i = \frac{6EIK}{h^2} \Delta Y_i = 5812,275 \text{ kgcm}$$

Momen keseluruhan struktur saat menerima gaya gempa diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 10 Momen akibat gaya gempa

8 KESIMPULAN

Berdasarkan analisa pembahasan teori dan perhitungan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Struktur bangun penahan geser hanya memperhitungkan gaya horizontal dan defleksi lateral.
- Besarnya perpindahan, bentuk perubahan struktur tergantung pada besar kecilnya nilai perbandingan antara massa dan kekakuan kolom.
- Metode matriks sangat berperan dalam menentukan *Circular Natural Frequency* (ω) dan bentuk perubahan struktur (*mode shape*) dan metode superposisi

berperan untuk mensuperposisikan antara gaya-gaya yang bekerja dengan perpindahan ke bentuk yang lebih sederhana.

- Pada dasarnya gaya gempa yang sebenarnya sangat sulit untuk diramalkan, namun analisa pendekatan untuk mendapatkan gaya gempa rencana yang mampu dipikul oleh struktur.
- Besarnya momen yang di berikan dari hasil perhitungan adalah untuk menahan terjadinya perpindahan akibat gaya gempa, di mana diperoleh momen kolom bawah lebih besar dari kolom atas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. O. F. Wantalingie, J. D. Pangouw and R. S. Windah, "Analisa statik dan dinamik gedung bertingkat banyak akibat gempa berdasarkan SNI 1726-2012 dengan variasi jumlah tingkat," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 4, no. 8, pp. 471-480, 2016.
- [2] F. Iqsan, "Evaluasi kekakuan metode klasik kaitannya dengan hasil paket program dan implikasinya terhadap respon struktur bangunan bertingkat," Fakultas Teknik dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, 2020.
- [3] N. Hutahean, J. Napitupulu and S. Nduru, "Analisis dinamis gaya gempa pada bangunan berdasarkan SNI-03-1726-2012," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 9, no. 2, pp. 91-100, 2020.
- [4] K. Muto, Analisis perancangan gedung tahan gempa, Jakarta: Erlangga, 1987.
- [5] B. Budiono and L. Supriatna, Studi komparasi desain bangunan tahan gempa dengan menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x, Bandung: Penerbit ITB, 2011.
- [6] W. Pawirodikromo, Seismologi Teknik & Rekayasa Kegempaan, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2012.
- [7] G. Theodosius and M. Saleh, Teori soal dan penyelesaian perencanaan struktur tahan gempa Jilid 1, Jakarta: Delta Teknik, 1983.
- [8] B. Lumantarna, Pengantar analisis dinamis dan gempa, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2000.

