

ANALISA RANGKA BATANG STRUKTUR MENARA TANGKI AIR AKIBAT GEMPA

Yonasdi Afdar Agthen

Reky Windah, Ronny Pandaleke

Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado

email : agthenyonasdi@gmail.com

ABSTRAK

Gempa memiliki pengaruh yang cukup besar untuk struktur rangka batang yang pusat beban utamanya bekerja pada bagian struktur paling atas, misalnya struktur rangka batang menara tangki air. Ketika gempa terjadi, struktur mengalami perpindahan vertikal dan horisontal. Gaya gempa dalam arah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur yang umumnya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang cukup tinggi. Oleh karena itu, struktur jarang runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya gaya gempa horisontal bekerja pada titik-titik yang lemah pada struktur yang tidak cukup kuat dan akan menyebabkan keruntuhan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh gempa pada struktur menara tangki air dengan menggunakan metode kekakuan, analisa dilakukan dengan mengubah beban gempa menjadi beban nominal statik ekuivalen yang bekerja pada titik-titik kumpul bagian paling atas struktur menara tangki air. Hasil dari analisa dengan menggunakan metode kekakuan ini akan dibandingkan dengan hasil analisa dengan menggunakan program SAP2000.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa perpindahan (displacement) arah horisontal yang terjadi pada menara tangki air dengan kondisi tangki terisi penuh lebih besar daripada displacement yang terjadi pada kondisi tangki terisi setengah dan kondisi tangki kosong.

Kata Kunci: Rangka Batang, Menara Tangki Air, Gempa, Metode Kekakuan

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Karena wilayah Indonesia terletak di jalur Ring of Fire kawasan Pasifik dan menjadi pusat pertemuan lempeng Indo-Australia, Lempeng Eurasia dan lempeng Pasifik, yang menyebabkan Indonesia memiliki potensi aktivitas seismik cukup tinggi dan juga rawan terhadap bahaya gempa. Oleh karena itu, perencanaan bangunan di Indonesia selain di desain untuk menerima beban luar sesuai dengan fungsi bangunan, juga harus di desain untuk menerima beban gempa.

Ketika gempa terjadi, bangunan mengalami perpindahan vertikal dan horisontal. Gaya gempa dalam arah vertikal hanya sedikit mengubah gaya gravitasi yang bekerja pada struktur yang umumnya direncanakan terhadap gaya vertikal dengan faktor keamanan yang cukup tinggi. Oleh karena itu, struktur jarang runtuh akibat gaya gempa vertikal. Sebaliknya gaya gempa horisontal bekerja pada titik-titik

yang lemah pada struktur yang tidak cukup kuat dan akan menyebabkan keruntuhan.

Struktur yang ditinjau dalam penelitian ini adalah struktur menara tangki air. Menara tangki air merupakan struktur yang ditinggikan untuk menampung air serta mendistribusikan pasokan air secara efektif dan cukup untuk kawasan tertentu. Berkaitan dengan hal-hal yang sudah disebutkan di atas, maka saya sebagai penulis mencoba meneliti tentang “Analisa Rangka Batang Struktur Menara Air Akibat Gempa”.

Rumusan Masalah

Dalam karya ilmiah yang berjudul *Analisa Rangka Batang Struktur Menara Tangki Air Akibat Gempa*.

Penulis merumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Dampak dan pengaruh gempa terhadap struktur menara tangki air.
2. Respon struktur menara tangki air terhadap gempa.

3. Cara menganalisis rangka batang struktur menara tangki air dengan metode kekakuan.

Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi oleh:

1. Rangka batang yang di analisis merupakan rangka batang ruang yang menggunakan profil baja siku.
2. Analisa dilakukan pada struktur menara tangki air.
3. Analisa struktur menggunakan metode kekakuan.
4. Berat sendiri elemen batang di abaikan.
5. Beban-beban yang bekerja terpusat di titik-titik kumpul.
6. Beban-beban yang bekerja pada struktur adalah beban statis.
7. Sambungan antar batang menggunakan sambungan baut yang tidak di tinjau.

Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui besarnya displacement (perpindahan) dan gaya dalam ujung batang (gaya aksial) yang terjadi pada struktur menara tangki air akibat beban gempa dengan menggunakan metode kekakuan.

Manfaat Penelitian

1. Memberikan informasi bagaimana menganalisis suatu struktur rangka batang menara tangki air akibat gempa dengan menggunakan metode kekakuan.
2. Penelitian ini juga merupakan tugas akhir dari program Strata 1 Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi.

LANDASAN TEORI

Sistem Rangka Batang Ruang

Sistem struktur dari rangka batang ruang mempunyai konfigurasi susunan elemen batang yang berada dalam ruang. Setiap elemen memiliki ujung yang berperilaku sendi pada titik-titik kumpul dari struktur rangka batang ruang. Setiap batang pada struktur rangka batang ruang yang diberikan gaya atau beban akan berpindah dalam tiga perpindahan orthogonal (Nasution, 2009).

Setiap struktur rangka batang ruang memiliki sifat sambungan sebagai sendi,

sehingga hanya memungkinkan struktur rangka batang untuk menyalurkan gaya aksial saja. Akibatnya, suatu batang atau elemen dalam struktur rangka batang ruang mengalami deformasi aksial yaitu: perpanjangan batang ataupun perpendekan pada batang.

Metode Kekakuan

Metode kekakuan adalah suatu cara untuk analisa struktur, dimana dalam proses perumusan analisisnya diambil lendutan dititik-titik diskrit sebagai besaran yang hendak dicari. (Susastrawan, 1991)

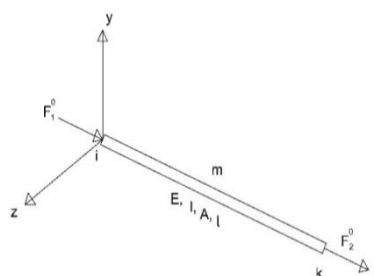
Metode kekakuan ini sebenarnya bukan cara analisa yang baru, karena sebenarnya metode ini sudah dikenal sejak tahun 1880. Tapi metode ini baru berkembang pesat akhir-akhir ini, seiring dengan kemajuan penggunaan komputer elektronik otomatis, yang ternyata sangat memudahkan dalam penyelesaian operasi-operasi matematikanya.

Matriks Kekakuan Elemen [S]_m

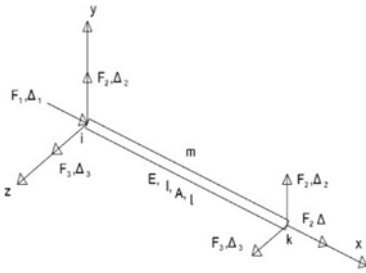
Mengingat elemen pada rangka batang hanya mengalami reaksi terhadap gaya tekan atau tarik saja, maka pada setiap elemen yang menerima gaya aksial N, berlaku hukum Hooke.

$$\epsilon = \frac{e}{l} = \frac{\sigma}{E} = \frac{N}{EA} \text{ atau } N = \frac{EA}{l} e$$

dengan menetapkan indeks derajat kebebasan elemen pada ruang dan menambah vektor gaya serta perpindahan arah komponen pada koordinat y dan z, maka hubungan antara gaya dan perpindahan dinyatakan sebagai berikut:



Gambar 1. Gaya Aksial Elemen Batang Pada Sistem Koordinat Lokal/Elemen



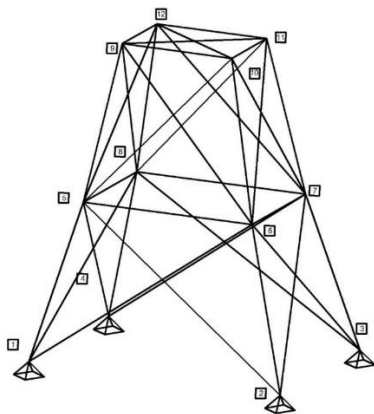
Gambar 2. Gaya Ujung Elemen Batang Pada Sistem Koordinat Lokal/Elemen

$$\begin{bmatrix} \frac{EA}{l} & 0 & 0 & -\frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{EA}{l} & 0 & 0 & \frac{EA}{l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \\ \Delta_3 \\ \Delta_4 \\ \Delta_5 \\ \Delta_6 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \end{Bmatrix}$$

atau $[S]_m \{\Delta\}_m = \{F\}_m$ (1)

Koordinat Lokal dan Koordinat Struktur Rangka Batang Ruang

Dari matriks kekakuan elemen $[S]_m$ dilakukan proses transformasi koordinat untuk perakitan matriks kekakuan $[K]$. Mengambil contoh rangka pada (gambar 2.8) Titik kumpul 10, sistem koordinat elemen batang 18,20,21,29,30, dan 34 yang menyatakan hubungan $[S]\{\Delta\} = \{F\}$ harus diubah kedalam sistem koordinat struktur/global bagi ke-6 elemen yang bertemu di titik kumpul 10.



Gambar 3. Permodelan Titik Kumpul Pada Struktur Rangka Batang Ruang (Nasution, 2009)

Derajat kebebasan pada titik kumpul 10 dinyatakan dengan X_{28}, X_{29} , dan X_{30} yang berpasangan dengan gaya P_{28}, P , dan P_{30} . Hubungan antara vektor perpindahan dan gaya ini dinyatakan dengan perakitan unsur kekakuan.

Jika ditinjau secara umum posisi elemen dengan berturut-turut dengan berorientasi $\theta_1, \theta_2, \theta_3$, maka terhadap koordinat struktur/global berubah derajat kebebasan elemen $[\Delta_1 \Delta_2 \Delta_3 \Delta_4 \Delta_5 \Delta_6]^T$ berorientasi koordinat struktur menjadi $[X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6]^T$, maka

$$\{\Delta\}_m = \begin{bmatrix} [T]_3 & 0 \\ 0 & [T]_3 \end{bmatrix}_m \{X\}_m \quad (2)$$

Hubungan vektor $[F_1 F_2 F_3 F_4 F_5 F_6]^T$ terhadap $[P_1 P_2 P_3 P_4 P_5 P_6]^T$:

$$\{F\}_m = \begin{bmatrix} [T]_3 & 0 \\ 0 & [T]_3 \end{bmatrix}_m \{P\}_m \quad (3)$$

Pada titik kumpul 10 yang dibentuk oleh elemen 18,20,21,29,30, dan 34 akan diperoleh enam pasang hubungan deformasi dan gaya ujung dalam sistem koordinat elemen dengan sistem koordinat struktur, yaitu :

$$\{\Delta\}_m = \begin{bmatrix} [T]_3 & 0 \\ 0 & [T]_3 \end{bmatrix}_m \{X\}_m \quad (4)$$

dan

$$\{F\}_m = \begin{bmatrix} [T]_3 & 0 \\ 0 & [T]_3 \end{bmatrix}_m \{P\}_m \quad (5)$$

Matriks Kekakuan Struktur $[K]_s$

Matriks kekakuan struktur $[K]_s$, merupakan gabungan antara susunan matriks kekakuan elemen $[k]_m$. Matriks kekakuan elemen didapatkan dari hasil perkalian matriks $[T]_m^T [S]_m [T]_m$ yang merupakan transformasi matriks kekakuan elemen $[S]_m$ menjadi matriks kekakuan elemen pada sistem koordinat struktur. Sehingga Matriks kekakuan elemen :

$$[k]_m = [T]_m^T [S]_m [T]_m \quad (6)$$

Seperti dengan penyelesaian persamaan $[K]\{X\}_s = \{P\}_s$ untuk matriks $\{X\}_s$ pada total, penyelesaian persamaan linear simultan $[K]\{X\}_s = \{P\}_s$ rangka dapat menggunakan metode dekomposisi LU atau Cholesky menyelesaikan parameter deformasi $\{X\}_s$. (Suhendro, 2000).

Beban Gempa

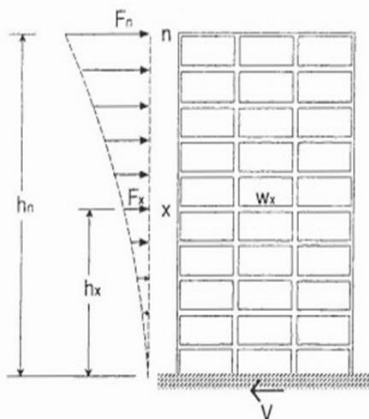
Efek merusak dari gempa pada bangunan sudah dikenal sejak dulu kala. Indonsia termasuk daerah dengan tingkat

resiko gempa yang cukup tinggi, sebab wilayah Indonesia berada di antara empat sistem tektonik aktif. (Nasution, 2009).

Beban gempa tidak sama dengan beban angin. Kerusakan gedung oleh getaran permukaan tanah saat gempa bumi terjadi bukan oleh gaya luar (seperti pada beban angin) melainkan oleh gaya dalam, karena titik tangkap beban gempa berimpit dengan titik massa gedung. Gaya gempa itu timbul karena adanya gerakan massa itu sendiri. Dalam dunia teknik sipil gempa bumi dijadikan beban rencana dalam perhitungan kekuatan suatu bangunan. (Clough W.R and Penzien J, 2003). beban geser dasar nominal statik ekuivalen V yang terjadi di tingkat dasar dapat dihitung menurut persamaan :

$$V = \frac{CI}{R} Wt \tag{7}$$

Beban statik ekivalen adalah suatu representasi dari beban gempa setelah disederhanakan dan dimodifikasi, yang mana gaya inersia yang bekerja pada suatu massa akibat gempa disederhanakan menjadi gaya horisontal (Widodo, 2001). Gedung beraturan tersebut umumnya dianggap mempunyai distribusi inelastik yang seragam pada keseluruhan elemen sistem penahan gaya lateral.



Gambar 4. Statistik Ekivalen (Ghosh and Fanella, 2003)

Beban geser nominal V harus dibagikan sepanjang tinggi struktur bangunan gedung menjadi beban-beban gempa nominal statik ekuivalen F_i yang menangkap pada pusat massa lantai tingkat ke- i menurut persamaan:

$$F_i = \frac{W_i z_i}{\sum_{j=1}^n W_j z_j} (V) \tag{8}$$

Waktu getar alami fundamental struktur bangunan gedung dalam arah masing-masing sumbu utama ditentukan dengan rumus Rayleigh sebagai berikut :

$$T_1 = 6.3 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n W_i d_i^2}{g \sum_{i=1}^n F_i d_i}} \tag{9}$$

Menara Tangki Air

Menara air adalah sebuah bak penyimpanan air yang ditinggikan dan dibangun untuk menampung persediaan air pada ketinggian yang cukup untuk memberi tekanan pada sistem distribusi air. Pemberian tekanan terjadi melalui peninggian air; untuk setiap ketinggian 10,20 cm (4,016 inch), air memberi tekanan sebesar 1 kpa (0,145 psi).

Menara air dapat memasok air bahkan ketika listrik padam, karena mereka bergantung pada tekanan yang dihasilkan oleh ketinggian air. Tetapi untuk mengisi tangki air menggunakan pompa air tetap membutuhkan listrik.

Cara kerja menara air :

1. Pompa mengalirkan air ke menara.
2. Air tersimpan di menara.
3. Tinggi menara memberikan tekanan hidrostatik untuk mengalirkan air ke pengguna.

METODE PENELITIAN

Data Penelitian

Studi literatur diperlukan untuk mengetahui teori-teori dasar analisa struktur metode kekakuan dalam hubungannya dengan analisa rangka batang pada struktur menara air. Dan memperdalam pengetahuan dan kemampuan dalam mengoperasikan program-program komputer yang akan digunakan dalam penelitian ini.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan langkah untuk mencari dan memperoleh informasi yang diperlukan pada penelitian. Akan tetapi dalam penelitian tentang “Analisis Rangka Batang Struktur Menara Air Akibat

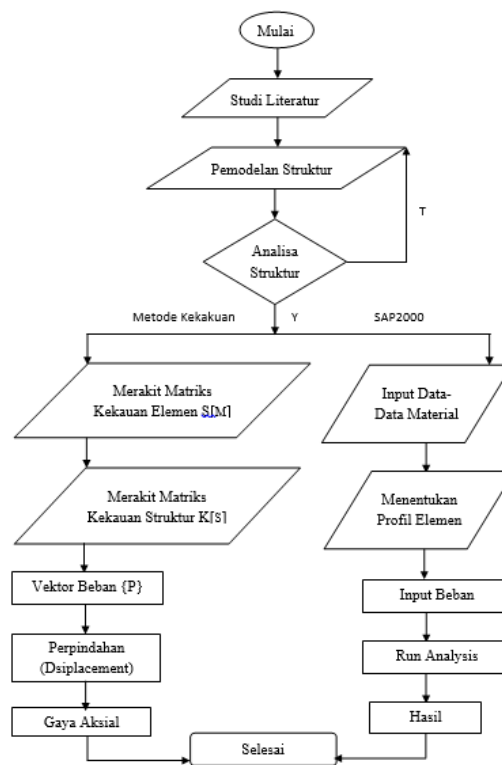
Gempa”ini, penulis tidak terlalu banyak mengumpulkan data di lapangan karena struktur menara air yang digunakan dalam penelitian ini merupakan rancangan atau desain sendiri dari penulis dengan tetap berpatokan pada struktur menara-menara air yang sudah di bangun di Indonesia. Akan tetapi untuk data gempa, penulis tetap mengumpulkan data atau informasi mengenai zona gempa di Indonesia melalui membaca buku-buku di perpustakaan maupun di internet.

Prosedur Penelitian

Kegiatan pelaksanaan tentang “Analisa Rangka Batang Bidang Menara Air Akibat Gempa” adalah sebagai berikut :

1. Merancang atau mendesain menara air yang akan dianalisis rangka batangnya akibat beban gempa.
2. Mencari data atau informasi mengenai zona gempa yang ada di Indonesia.
3. Penelitian analisis rangka batang menggunakan metode “kekakuan”, langkah-langkah perhitungannya adalah sebagai berikut :
 - Penentuan luas penampang profil dan bentang elemen.
 - Penentuan derajat kebebasan (DOF) struktur.
 - Merancang Matriks kekakuan elemen [S]m.
 - Meninjau derajat kebebasan elemen terhadap sistem koordinat struktur.
 - Merakit matriks kekakuan struktur [K]s disetiap titik kumpul.
 - Vektot beban [P]s.
 - Perhitungan gaya terpusat ekuivalen.
 - Menggambar garis elastis struktur (perpindahan titik kumpul terhadap posisi semula).
 - Menyelesaikan besarnya gaya-gaya dalam ujung batang (gaya aksial) setiap elemen.

Diagram alir penelitian dapat dilihat pada gambar berikut ini :



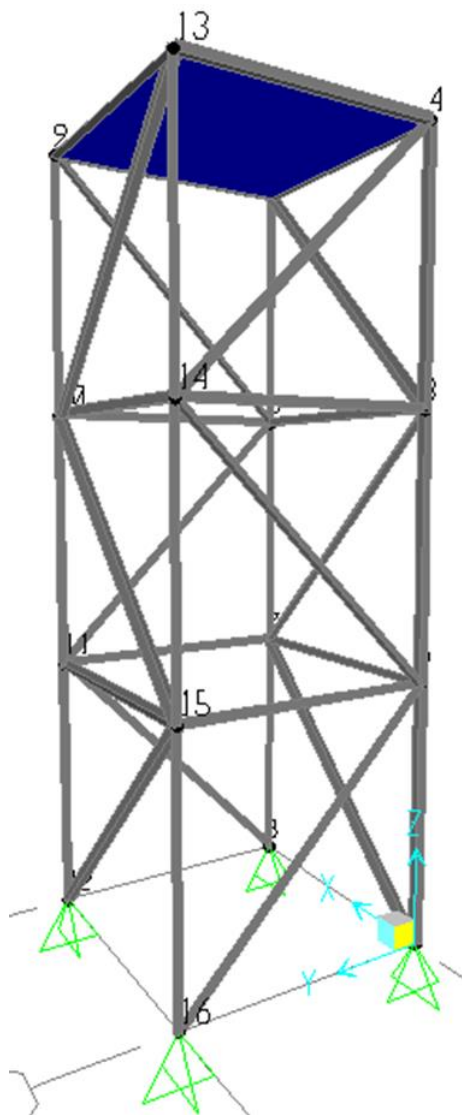
Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur Serta Penentuan Luas Penampang Profil Dan Panjang Bentang Elemen

Dalam penelitian ini Profil baja yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja L 75.75.9. Modulus Elastisitas Baja $E_s = 200000$ Mpa.

Nama Batang	Panjang (cm)	Luas (cm ²)
A1-A3	250	12,690
A4-A6	250	12,690
A7-A9	250	12,690
A10-A12	250	12,690
B1,B2,B3	250	12,690
B4,B5,B6	250	12,690
B7,B8,B9	250	12,690
B10,B11,B12	250	12,690
C1,C3,C8	353,553	12,690
C2,C7,C9	353,553	12,690
C4,C6,C11	353,553	12,690
C5,C10,C12	353,553	12,690



Gambar 6. Model Struktur Menara Tangki Air

Karena struktur yang di tinjau dalam penelitian ini memiliki 36 derajat kebebasan struktur maka matriks kekakuan struktur yang terbentuk memiliki ordo 36 x 36.

PEMBEBANAN

Beban Tangki Air

Tangki air yang di gunakan dalam penelitian ini adalah adalah jenis roof tank FRP, Roof Tank FRP adalah tangki penampung air bersih yang terbuat dari bahan FRP (fiber reinforced polymer) atau fiberglass. Berat tangki air adalah 150 kg.

Beban Air

Tangki air yang digunakan adalah model RTF-4-1 yang berbentuk persegi dengan ukuran 2x2x1 m.

Massa jenis air (ρ) adalah 1.000 kg/m^3

- Tangki air terisi setengah
 $m = (2 \times 2 \times 0,5) \text{ m}^3 \times 1.000 \text{ kg/m}^3$
 $m = 2000 \text{ kg}$
- Tangki air terisi penuh
 $m = (2 \times 2 \times 1) \text{ m}^3 \times 1.000 \text{ kg/m}^3$
 $m = 4000 \text{ kg}$

Beban Pelat

Plat lantai yang digunakan sebagai dudukan tangki air di atas menara memiliki tebal 1 cm, panjang 2,5 m dan lebar 2,5 m yang ditopang oleh 4 baja siku dengan jarak 50 cm yang akan menjadi beban tidak langsung pada struktur menara tangki air. Dengan berat jenis baja 7850 kg/m^3 , sehingga berat pelat adalah:

Derajat Kebebasan Struktur (Degree of Freedom)

Struktur rangka ruang yang digunakan dalam penelitian ini memiliki 36 elemen batang, 16 titik kumpul, dan 4 titik kumpul sebagai perletakan sendi.

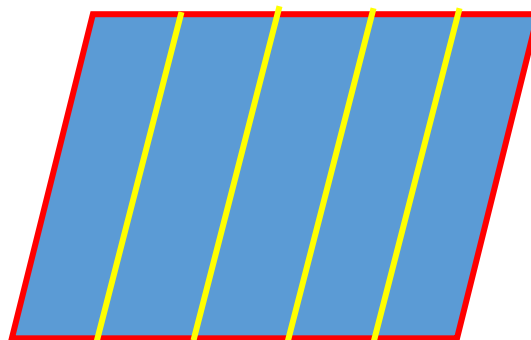
$$\text{DOF} = 3 \times \text{jumlah titik kumpul} - 3 \times \text{jumlah perletakan sendi}$$

$$= (3 \times 16) - (3 \times 4) = 36$$

Merakit Matriks Kekakuan Elemen [S]M

Matriks kekakuan Elemen dirakit berdasarkan sifat-sifat tiap elemen dan transformasi koordinat tiap elemen.

Merakit Matriks Kekakuan Struktur [K]S



$$= (250 \times 250 \times 1) \text{ cm}^3 \times 0,00785 \text{ kg/cm}^3 + (0,0996 \times 250) \times 4$$

$$= 490,625 \text{ kg} + 99,6 \text{ kg}$$

$$= 590,225 \text{ kg}$$

Beban Gempa

Dalam penelitian ini tangki air di bangun di daerah kota Manado provinsi Sulawesi Utara. Sehingga dalam penelitian ini peneliti menggunakan data-data gempa yang terjadi di daerah kota Manado.

Beban Dasar Nominal Statik Ekuivalen

➤ Tangki air dalam keadaan kosong

$$V_x = V_y = V = \frac{C.I}{R} \times Wt$$

$$= \frac{0,75 \times 1,25}{2,8} \times 740,225 \text{ kg}$$

$$= 247,843 \text{ kg}$$

V_x dan V_y harus didistribusikan di sepanjang tinggi stuktur bangunan gedung menara tangki air menjadi beban-beban gempa statik ekuivalen yang bekerja pada pusat masaa lantai. Besarnya beban statik ekuivalen (F_i) pada lantai tingkat ke- i dari bangunan dapat dihitung dengan rumus:

$$F_i = \frac{W_i \cdot z_i}{\sum_{j=1}^n W_j \cdot z_j} (V)$$

Karena bangunan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah menara tangki air yang dimana beban yang bekerja pada struktur bangunan hanya terdapat pada bagian paling atas, sehingga $V = F_i = 247,843 \text{ kg}$.

Struktur menara tangki air dalam penelian memiliki panjang (arah-x) dan lebar (arah-y) yang sama dan masing-masing terdiri dari 2 tiang baik dalam arah-x maupun arah-y, sehingga tiap tiang masing-masing menanggung beban = 123,9215 kg.

➤ Tangki air dalam kondisi terisi setengah

$$V_x = V_y = V = \frac{C.I}{R} \times Wt$$

$$= \frac{0,75 \times 1,25}{2,8} \times 2740,225 \text{ kg}$$

$$= 917,486 \text{ kg}$$

Karena bangunan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah menara tangki air yang dimana beban yang bekerja pada struktur bangunan hanya terdapat pada bagian paling atas, sehingga $V = F_i = 917,486 \text{ kg}$.

Struktur menara tangki air dalam penelian memiliki panjang (arah-x) dan lebar (arah-y) yang sama dan masing-masing terdiri dari 2 tiang baik dalam arah-x maupun arah-y, sehingga tiap tiang masing-masing menanggung beban = 458,743 kg.

➤ Tangki air dalam kondisi terisi penuh

$$V_x = V_y = V = \frac{C.I}{R} \times Wt$$

$$= \frac{0,75 \times 1,25}{2,8} \times 4740,225 \text{ kg}$$

$$= 1587,129 \text{ kg}$$

Karena bangunan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah menara tangki air yang dimana beban yang bekerja pada struktur bangunan hanya terdapat pada bagian paling atas, sehingga $V = F_i = 1587,129 \text{ kg}$.

Struktur menara tangki air dalam penelian memiliki panjang (arah-x) dan lebar (arah-y) yang sama dan masing-masing terdiri dari 2 tiang baik dalam arah-x maupun arah-y, sehingga tiap tiang masing-masing menanggung beban = 793,564 kg. Nilai beban gempa positif dan beban gempa negatif sama, hanya arah kerja beban gempa negatif berlawanan dari gempa positif

Displacement (Perpindahan)

$$[K]_s = \{X\}_s * \{P\}$$

$$\{X\}_s = [K]_s^{-1} * \{P\}$$

Tabel 1. Nilai Displacement Untuk Kondisi Tangki Kosong Gempa Positif

Perpindahan (Displacement)				
	Metode Kekakuan	SAP2000	selisih	%
X1	0,0086	0,0084	0,0002	2,5%
X2	0,0009	0,0009	0,0000	4,0%
X3	0,0009	0,0009	0,0000	4,0%
X4	0,0191	0,0187	0,0004	2,2%
X5	0,0019	0,0018	0,0001	4,0%
X6	0,0000	0,00001	-0,00001	0,01%
X7	0,0363	0,0355	0,0008	2,1%
X8	0,0004	0,0004	0,0000	7,1%
X9	-0,0015	-0,0015	0,0000	0,2%
X10	0,0351	0,0343	0,0008	2,2%
X11	-0,0106	-0,0104	-0,0002	2,0%
X12	0,0015	0,0015	0,0000	0,2%
X13	0,0191	0,0187	0,0004	2,2%
X14	-0,0079	-0,0077	-0,0002	2,4%
X15	0,0000	0,00002	0,0000	0,01%
X16	0,0086	0,0084	0,0002	2,5%
X17	-0,0052	-0,0051	-0,0001	1,3%
X18	0,0039	0,0039	0,0000	1,1%
X19	0,0320	0,0314	0,0006	2,0%
X20	-0,0094	-0,0092	-0,0002	2,1%
X21	0,0015	0,0015	0,0000	0,2%
X22	0,0191	0,0187	0,0004	2%
X23	-0,0079	-0,0077	-0,0002	2%
X24	0,0000	0,00003	-0,00003	0,03%
X25	0,0056	0,0055	0,0001	2,0%
X26	-0,0039	-0,0039	0,0000	1,1%
X27	0,0039	0,0039	0,0000	1,1%
X28	0,0320	0,0314	0,0006	2,0%
X29	0,0016	0,0016	0,0000	0,5%
X30	-0,0015	-0,0015	0,0000	0,2%
X31	0,0191	0,0187	0,0004	2,2%
X32	0,0019	0,0018	0,0001	4,0%
X33	0,0000	0,00001	-0,00001	0,01%
X34	0,0056	0,0055	0,0001	2,0%
X35	0,0022	0,0021	0,0000	1,0%
X36	0,0009	0,0009	0,0000	4,0%

Tabel 2. Nilai Displacement Untuk Kondisi Tangki Terisi 1/2 Air Gempa Positif

Perpindahan (Displacement)				
	Metode Kekakuan	SAP2000	selisih	%
X1	0,0325	0,0318	0,0007	2,1%
X2	0,0029	0,0028	0,0001	3,8%
X3	0,0029	0,0028	0,0001	3,8%
X4	0,0708	0,0693	0,0015	2,1%
X5	0,0058	0,0057	0,0001	2,0%
X6	0,0000	-0,000053	0,0001	0,01%
X7	0,1348	0,132	0,0028	2,1%
X8	-0,0003	-0,0003	0,0000	3,0%
X9	-0,0061	-0,0061	0,0000	0,5%
X10	0,1303	0,1275	0,0028	2,2%
X11	-0,0410	-0,0401	-0,0009	2,1%
X12	0,0061	0,0061	0,0000	0,5%
X13	0,0708	0,0693	0,0015	2,1%
X14	-0,0303	-0,0297	-0,0006	2,1%
X15	0,0000	0,0001	-0,0001	0,01%
X16	0,0325	0,0318	0,0007	2,1%
X17	-0,0197	-0,0193	-0,0004	2,0%
X18	0,0152	0,0148	0,0004	2,4%
X19	0,1181	0,1157	0,0024	2,0%
X20	-0,0365	-0,0357	-0,0008	2,1%
X21	0,0061	0,00611	0,0000	0,3%
X22	0,0708	0,0693	0,0015	2,1%
X23	-0,0303	-0,0297	-0,0006	2,1%
X24	0,0000	0,00001	0,0000	0,01%
X25	0,0202	0,0199	0,0003	1,5%
X26	-0,0152	-0,0149	-0,0003	1,8%
X27	0,0152	0,0149	0,0003	1,8%
X28	0,1181	0,1157	0,0024	2,0%
X29	0,0042	0,0042	0,0000	0,2%
X30	-0,0061	-0,0061	0,0000	0,5%
X31	0,0708	0,0693	0,0015	2,1%
X32	0,0058	0,0057	0,0001	2,0%
X33	0,0000	0,00005	-0,0001	0,01%
X34	0,0202	0,0198	0,0004	2,0%
X35	0,0074	0,0073	0,0001	1,7%
X36	0,0029	0,0028	0,0001	3,8%

Tabel 4. Nilai Displacement Untuk Kondisi Tangki Kosong Gempa Negatif

Perpindahan (Displacement)				
	Metode Kekakuan	SAP2000	selisih	%
X1	-0,0056	-0,0055	-0,0001	2,0%
X2	-0,0039	-0,0039	0,0000	1,1%
X3	-0,0039	-0,0039	0,0000	1,1%
X4	-0,0191	-0,0187	-0,0004	2,2%
X5	-0,0079	-0,0077	-0,0002	2,4%
X6	0,0000	-0,00003	0,00003	0,03%
X7	-0,0333	-0,0314	-0,0019	5,6%
X8	-0,0094	-0,0092	-0,0002	2,1%
X9	-0,0015	-0,0015	0,0000	0,2%
X10	-0,0320	-0,0314	-0,0006	2,0%
X11	0,0016	0,0016	0,0000	0,5%
X12	0,0015	0,0016	0,0001	6,4%
X13	-0,0191	-0,0187	-0,0004	2,2%
X14	0,0019	0,0018	0,0001	4,0%
X15	0,0000	0,00001	0,0000	0,01%
X16	-0,0056	-0,0055	-0,0001	2,0%
X17	0,0022	0,0021	0,0001	2,7%
X18	-0,0009	-0,0009	0,0000	4,0%
X19	-0,0351	-0,0355	-0,0004	1,3%
X20	0,0004	0,0004	0,0000	7,1%
X21	0,0015	0,0015	0,0000	0,2%
X22	-0,0191	-0,0187	-0,0004	2,2%
X23	0,0019	0,0018	0,0001	4,0%
X24	0,0000	0,00001	-0,00001	0,01%
X25	-0,0086	-0,0084	-0,0002	2,5%
X26	0,0009	0,0009	0,0000	4,0%
X27	-0,0009	-0,0009	0,0000	4,0%
X28	-0,0351	-0,0343	-0,0008	2,2%
X29	-0,0106	-0,0104	-0,0002	2,0%
X30	-0,0015	-0,0015	0,0000	0,2%
X31	-0,0191	-0,0187	-0,0004	2,2%
X32	-0,0079	-0,0077	-0,0002	2,4%
X33	0,0000	-0,00002	0,00002	0,02%
X34	-0,0086	-0,0084	-0,0002	2,5%
X35	-0,0052	-0,0051	0,0000	1,0%
X36	-0,0039	-0,0039	0,0000	1,1%

Tabel 3. Nilai Displacement Untuk Kondisi Tangki Terisi Penuh Air Gempa Positif

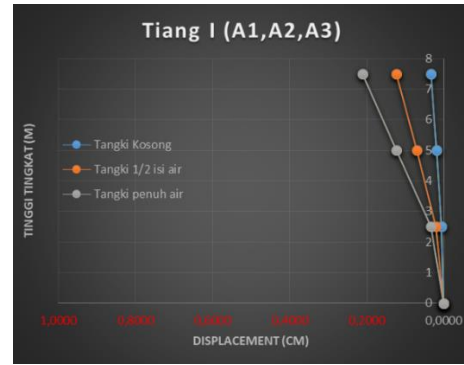
Perpindahan (Displacement)				
	Metode Kekakuan	SAP2000	selisih	%
X1	0,0566	0,0554	0,0012	2,1%
X2	0,0046	0,0045	0,0001	1,8%
X3	0,0046	0,0045	0,0001	1,8%
X4	0,1224	0,1199	0,0025	2,0%
X5	0,0092	0,009	0,0002	1,8%
X6	0,0000	-0,000098	0,0001	0,01%
X7	0,2337	0,2287	0,0050	2,1%
X8	-0,0019	-0,0019	0,0000	0,4%
X9	-0,0111	-0,011	-0,0001	0,5%
X10	0,2259	0,2211	0,0048	2,1%
X11	-0,0722	-0,0707	-0,0015	2,1%
X12	0,0111	0,011	0,0001	0,5%
X13	0,1224	0,1199	0,0025	2,0%
X14	-0,0534	-0,0523	-0,0011	2,0%
X15	0,0000	0,0002	-0,0002	0,02%
X16	0,0566	0,0555	0,0011	2,0%
X17	-0,0345	-0,0338	-0,0007	2,0%
X18	0,0267	0,0261	0,0006	2,2%
X19	0,2038	0,1997	0,0041	2,0%
X20	-0,0644	-0,0631	-0,0013	2,1%
X21	0,0111	0,011	0,0001	0,5%
X22	0,1224	0,1199	0,0025	2,0%
X23	-0,0534	-0,0523	-0,0011	2,0%
X24	0,0000	0,0002	-0,0002	0,02%
X25	0,0345	0,0339	0,0006	1,8%
X26	-0,0267	-0,0262	-0,0005	1,8%
X27	0,0267	0,0261	0,0006	2,2%
X28	0,2038	0,1997	0,0041	2,0%
X29	0,0059	0,0059	0,0000	0,4%
X30	-0,0111	-0,011	-0,0001	0,5%
X31	0,1224	0,1199	0,0025	2,0%
X32	0,0092	0,009	0,0002	1,8%
X33	0,0000	0,00009	-0,0001	0,01%
X34	0,0345	0,0339	0,0006	1,8%
X35	0,0124	0,0122	0,0002	1,6%
X36	0,0046	0,0045	0,0001	1,8%

Tabel 5. Nilai Displacement Untuk Kondisi Tangki Terisi 1/2 Air Gempa Negatif

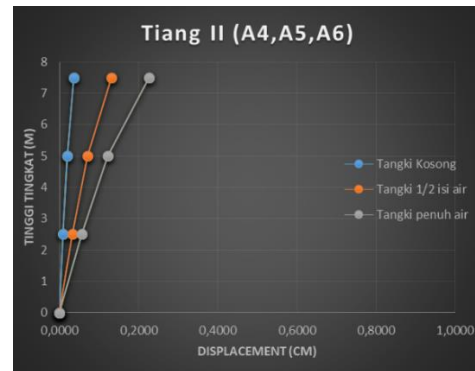
Perpindahan (Displacement)				
	Metode Kekakuan	SAP2000	selisih	%
X1	-0,0202	-0,0199	-0,0003	1,5%
X2	-0,0152	-0,0149	-0,0003	1,8%
X3	-0,0152	-0,0149	-0,0003	1,8%
X4	-0,0708	-0,0693	-0,0015	2,1%
X5	-0,0303	-0,0297	-0,0006	2,1%
X6	0,0000	-0,0001	0,0001	0,01%
X7	-0,1226	-0,1157	-0,0069	5,6%
X8	-0,0365	-0,0357	-0,0008	2,1%
X9	-0,0061	-0,0061	0,0000	0,5%
X10	-0,1181	-0,1157	-0,0024	2,0%
X11	0,0042	0,0042	0,0000	0,2%
X12	0,0061	0,0061	0,0000	0,5%
X13	-0,0708	-0,0693	-0,0015	2,1%
X14	0,0058	0,0057	0,0001	2,0%
X15	0,0000	0,00005	-0,0001	0,01%
X16	-0,0202	-0,0198	-0,0004	2,0%
X17	0,0074	0,0073	0,0001	1,7%
X18	-0,0029	-0,0028	-0,0001	3,8%
X19	-0,1303	-0,132	-0,0017	1,3%
X20	-0,0003	-0,0003	0,0000	3,0%
X21	0,0061	0,0061	0,0000	0,5%
X22	-0,0708	-0,0693	-0,0015	2,1%
X23	0,0058	0,0057	0,0001	2,0%
X24	0,0000	0,00005	-0,0001	0,01%
X25	-0,0325	-0,0318	-0,0007	2,1%
X26	0,0029	0,0028	0,0001	3,8%
X27	-0,0029	-0,0028	-0,0001	3,8%
X28	-0,1303	-0,1275	-0,0028	2,2%
X29	-0,0410	-0,0401	-0,0009	2,1%
X30	-0,0061	-0,0061	0,0000	0,5%
X31	-0,0708	-0,0693	-0,0015	2,1%
X32	-0,0303	-0,0297	-0,0006	2,1%
X33	0,0000	-0,0001	0,0001	0,01%
X34	-0,0325	-0,0318	-0,0007	2,1%
X35	-0,0197	-0,0193	-0,0004	2,0%
X36	-0,0152	-0,0148	-0,0004	2,4%

Tabel 6. Nilai Displacement Untuk Kondisi Tangki Terisi Penuh Air Gempa Negatif

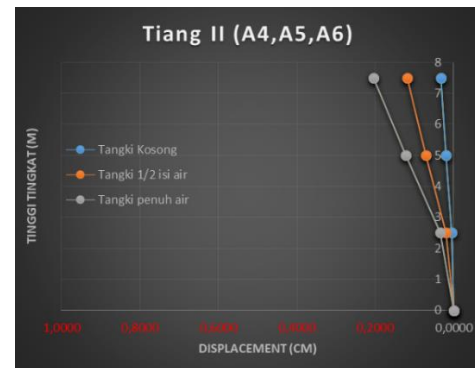
Perpindahan (Displacement)				
	Metode Kekakuan	SAP2000	selisih	%
X1	-0,0345	-0,0339	-0,0006	1,8%
X2	-0,0267	-0,0262	-0,0005	1,8%
X3	-0,0267	-0,0261	-0,0006	2,2%
X4	-0,1224	-0,1199	-0,0025	2,0%
X5	-0,0534	-0,0523	-0,0011	2,0%
X6	0,0000	-0,0002	0,0002	0,02%
X7	-0,2116	-0,1997	-0,0119	5,6%
X8	-0,0644	-0,0631	-0,0013	2,1%
X9	-0,0111	-0,011	-0,0001	0,5%
X10	-0,2038	-0,1997	-0,0041	2,0%
X11	0,0059	0,0059	0,0000	0,4%
X12	0,0111	0,011	0,0001	0,5%
X13	-0,1224	-0,1199	-0,0025	2,0%
X14	0,0092	0,009	0,0002	1,8%
X15	0,0000	0,00009	-0,0001	0,01%
X16	-0,0345	-0,0339	-0,0006	1,8%
X17	0,0124	0,0122	0,0002	1,6%
X18	-0,0046	-0,0045	-0,0001	1,8%
X19	-0,2259	-0,2287	-0,0028	1,2%
X20	-0,0019	-0,0019	0,0000	0,4%
X21	0,0111	0,011	0,0001	0,5%
X22	-0,1224	-0,1199	-0,0025	2,0%
X23	0,0092	0,009	0,0002	1,8%
X24	0,0000	0,00009	-0,0001	0,01%
X25	-0,0566	-0,0554	-0,0012	2,1%
X26	0,0046	0,0045	0,0001	1,8%
X27	-0,0046	-0,0045	-0,0001	1,8%
X28	-0,2259	-0,2211	-0,0048	2,1%
X29	-0,0722	-0,0707	-0,0015	2,1%
X30	-0,0111	-0,011	-0,0001	0,5%
X31	-0,1224	-0,1199	-0,0025	2,0%
X32	-0,0534	-0,0523	-0,0011	2,0%
X33	0,0000	-0,0002	0,0002	0,02%
X34	-0,0566	-0,0555	-0,0011	2,0%
X35	-0,0345	-0,0338	-0,0007	2,0%
X36	-0,0267	-0,0261	-0,0006	2,2%



Grafik 2. Displacement Tiang 1 Akibat Gempa Negatif

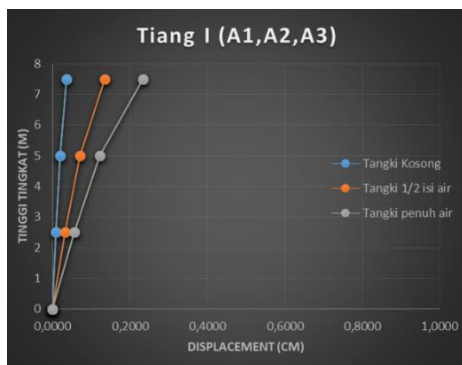


Grafik 3. Displacement Tiang II Akibat Gempa Positif

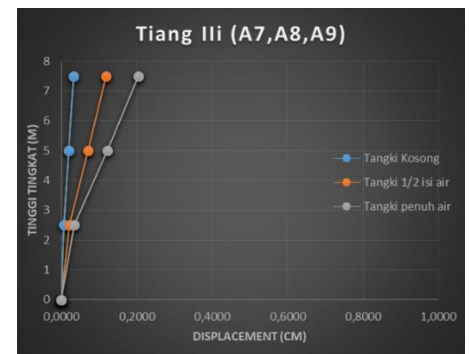


Grafik 4. Displacement Tiang II Akibat Gempa Negatif

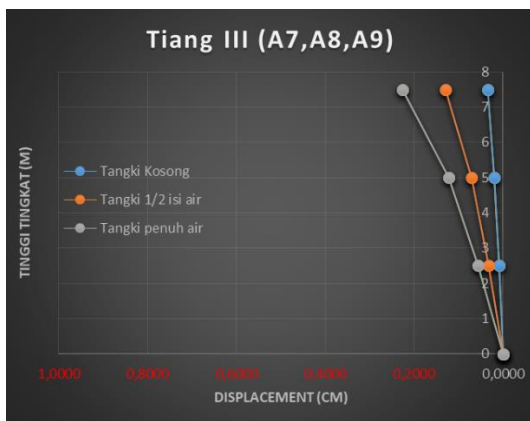
Grafik Nilai Displacement



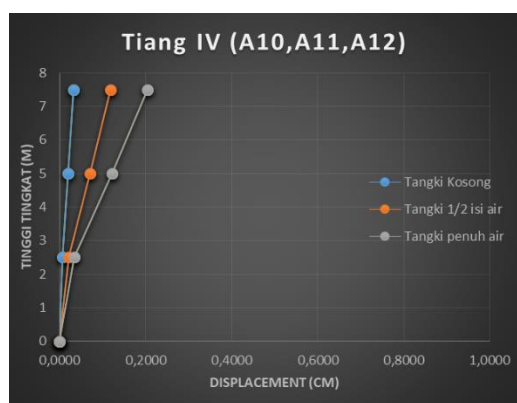
Grafik 1. Displacement Tiang 1 Akibat Gempa Positif



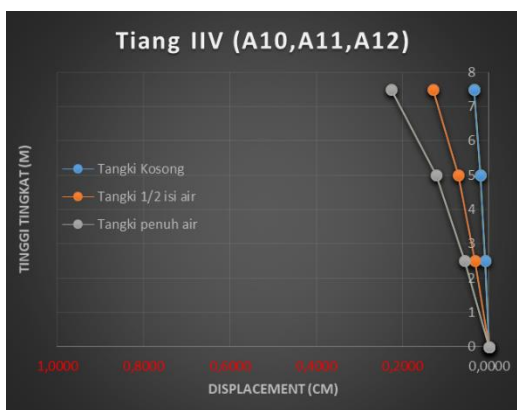
Grafik 5. Displacement Tiang III Akibat Gempa Positif



Grafik 6. Displacement Tiang III Akibat Gempa Negatif



Grafik 7. Displacement Tiang IV Akibat Gempa Positif



Grafik 8. Displacement Tiang IV Akibat Gempa Negatif

Gaya Dalam Ujung Batang (Gaya Aksial)

$$\{F\} = [S]m * [T]3 * \{X\}s$$

Tabel 7. Gaya Aksial Kondisi Tangki Kosong Akibat Gempa Positif

Gaya Dalam Ujung Batang (Gaya Aksial) kg				
Nama Batang	Metode Kekakuan	SAP2000	Selisih (%)	Keterangan
A1	95,1858	94,45	0,8%	Tarik
A2	95,1858	94,86	0,3%	Tarik
A3	-152,6562	-152,3	0,2%	Tekan
A4	-276,5772	-275,89	0,2%	Tekan
A5	-276,5772	-275,88	0,3%	Tekan
A6	-524,4192	-523,76	0,1%	Tekan
A7	-400,4982	-400,53	0,0%	Tekan
A8	-400,4982	-399,77	0,2%	Tekan
A9	-152,6562	-152,48	0,1%	Tekan
A10	-28,7352	-28,68	0,2%	Tekan
A11	-28,7352	-28,35	1,3%	Tekan
A12	219,1068	219,26	0,1%	Tarik
B1	0	0		
B2	0	0		
B3	-123,921	-123,47	0,4%	Tekan
B4	0	0		
B5	0	0		
B6	0	0		
B7	0	0		
B8	0	0		
B9	0	0		
B10	0	0		
B11	0	0		
B12	0	0		
C1	175,2491	175,09	0,1%	Tarik
C2	-175,2491	-175,12	0,1%	Tekan
C3	175,2491	174,13	0,6%	Tarik
C4	0	0		
C5	0	0		
C6	0	0		
C7	-175,2491	-175,57	0,2%	Tekan
C8	175,2491	174,34	0,5%	Tarik
C9	-175,2491	-175,15	0,1%	Tekan
C10	0	0		
C11	0	0		
C12	0	0		

Tabel 8. Gaya Aksial Kondisi Tangki 1/2 Isi Air Akibat Gempa Positif

Gaya Dalam Ujung Batang (Gaya Aksial) kg				
Nama Batang	Metode Kekakuan	SAP2000	Selisih (%)	Keterangan
A1	295,361	294,56	0,3%	Tarik
A2	295,361	294,31	0,4%	Tarik
A3	-622,125	-620,629	0,2%	Tekan
A4	-1080,868	-1078,2	0,2%	Tekan
A5	-1080,868	-1078,16	0,3%	Tekan
A6	-1998,354	-1995,85	0,1%	Tekan
A7	-1539,611	-1539,67	0,004%	Tekan
A8	-1539,611	-1536,79	0,2%	Tekan
A9	-622,125	-621,37	0,1%	Tekan
A10	-163,382	-163,06	0,2%	Tekan
A11	-163,382	-161,81	1,0%	Tekan
A12	754,104	754,72	0,1%	Tarik
B1	0	0		
B2	0	0		
B3	-458,743	-457,01	0,4%	Tekan
B4	0	0		
B5	0	0		
B6	0	0		
B7	0	0		
B8	0	0		
B9	0	0		
B10	0	0		
B11	0	0		
B12	0	0		
C1	648,7544	648,1	0,1%	Tarik
C2	-648,7544	-648,46	0,05%	Tekan
C3	648,7544	644,47	0,7%	Tarik
C4	0	0		
C5	0	0		
C6	0	0		
C7	-648,7544	-650,02	0,2%	Tekan
C8	648,7544	645,23	0,5%	Tarik
C9	-648,7544	-648,55	0,03%	Tekan
C10	0	0		
C11	0	0		
C12	0	0		

Tabel 9. Gaya Aksial Kondisi Tangki Penuh Akibat Gempa Positif

Gaya Dalam Ujung Batang (Gaya Aksial) kg				
Nama Batang	Metode Kekakuan	SAP2000	Selisih (%)	Keterangan
A1	465,003	463,65	0,3%	Tarik
A2	465,003	463,29	0,4%	Tarik
A3	-1122,125	-1119,55	0,2%	Tekan
A4	-1915,689	-1910,99	0,2%	Tekan
A5	-1915,689	-1910,9	0,2%	Tekan
A6	-3502,817	-3498,44	0,1%	Tekan
A7	-2709,253	-2709,32	0,002%	Tekan
A8	-2709,253	-2704,27	0,2%	Tekan
A9	-1122,125	-1120,73	0,1%	Tekan
A10	-328,561	-327,91	0,2%	Tekan
A11	-328,561	-325,73	0,9%	Tekan
A12	1258,567	1259,68	0,1%	Tarik
B1	0	0		
B2	0	0		
B3	-793,564	-790,52	0,4%	Tekan
B4	0	0		
B5	0	0		
B6	0	0		
B7	0	0		
B8	0	0		
B9	0	0		
B10	0	0		
B11	0	0		
B12	0	0		
C1	1122,258	1121,07	0,1%	Tarik
C2	-1122,258	-1121,88	0,0%	Tekan
C3	1122,258	1114,73	0,7%	Tarik
C4	0	0		
C5	0	0		
C6	0	0		
C7	-1122,258	-1124,5	0,2%	Tekan
C8	1122,258	1116,03	0,6%	Tarik
C9	-1122,258	-1122,01	0,02%	Tekan
C10	0	0		
C11	0	0		
C12	0	0		

Tabel 11. Gaya Aksial Kondisi Tangki Isi 1/2 Air Akibat Gempa Negatif

Gaya Dalam Ujung Batang (Gaya Aksial) kg				
Nama Batang	Metode Kekakuan	SAP2000	Selisih (%)	Keterangan
A1	-1539,61	-1539,67	0,004%	Tekan
A2	-1539,61	-1536,79	0,2%	Tekan
A3	-622,125	-621,37	0,1%	Tekan
A4	-163,382	-163,06	0,2%	Tekan
A5	-163,382	-161,81	1,0%	Tekan
A6	754,104	754,72	0,1%	Tarik
A7	295,361	294,56	0,3%	Tarik
A8	295,361	294,31	0,4%	Tarik
A9	-622,125	-620,69	0,2%	Tekan
A10	-1080,87	-1078,2	0,2%	Tekan
A11	-1080,87	-1078,16	0,3%	Tekan
A12	-1998,35	-1995,85	0,1%	Tekan
B1	0	0		
B2	0	0		
B3	0	0		
B4	0	0		
B5	0	0		
B6	0	0		
B7	0	0		
B8	0	0		
B9	-458,743	-457,01	0,4%	Tekan
B10	0	0		
B11	0	0		
B12	0	0		
C1	-648,754	-650,02	0,2%	Tekan
C2	648,7544	645,23	0,5%	Tarik
C3	-648,754	-648,55	0,03%	Tekan
C4	0	0		
C5	0	0		
C6	0	0		
C7	648,7544	648,1	0,1%	Tarik
C8	-648,754	-648,46	0,05%	Tekan
C9	648,7544	644,47	0,7%	Tarik
C10	0	0		
C11	0	0		
C12	0	0		

Tabel 10. Gaya Aksial Kondisi Tangki Kosong Akibat Gempa Negatif

Gaya Dalam Ujung Batang (Gaya Aksial) kg				
Nama Batang	Metode Kekakuan	SAP2000	Selisih (%)	Keterangan
A1	-400,4982	-400,5	0,0004%	Tekan
A2	-400,4982	-399,77	0,2%	Tekan
A3	-152,6562	-152,48	0,1%	Tekan
A4	-28,7352	-28,68	0,2%	Tekan
A5	-28,7352	-28,35	1,3%	Tekan
A6	219,1068	219,26	0,1%	Tarik
A7	95,1858	94,95	0,2%	Tarik
A8	95,1858	94,86	0,3%	Tarik
A9	-152,6562	-152,3	0,2%	Tekan
A10	-276,5772	-275,89	0,2%	Tekan
A11	-276,5772	-275,88	0,3%	Tekan
A12	-524,4192	-523,76	0,1%	Tekan
B1	0	0		
B2	0	0		
B3	0	0		
B4	0	0		
B5	0	0		
B6	0	0		
B7	0	0		
B8	0	0		
B9	-123,921	-123,47	0,4%	Tekan
B10	0	0		
B11	0	0		
B12	0	0		
C1	-175,2491	-175,57	0,2%	Tekan
C2	175,2491	174,34	0,5%	Tarik
C3	-175,2491	-175,15	0,1%	Tekan
C4	0	0		
C5	0	0		
C6	0	0		
C7	175,2491	175,09	0,1%	Tarik
C8	-175,2491	-175,12	0,1%	Tekan
C9	175,2491	174,13	0,6%	Tarik
C10	0	0		
C11	0	0		
C12	0	0		

Tabel 12. Gaya Aksial Kondisi Tangki Penuh Akibat Gempa Negatif

Gaya Dalam Ujung Batang (Gaya Aksial) kg				
Nama Batang	Metode Kekakuan	SAP2000	Selisih (%)	Keterangan
A1	-2709,253	-2709,32	0,002%	Tekan
A2	-2709,253	-2704,27	0,2%	Tekan
A3	-1122,125	-1120,73	0,1%	Tekan
A4	-328,561	-327,91	0,2%	Tekan
A5	-328,561	-325,73	0,9%	Tekan
A6	1258,567	1259,68	0,1%	Tarik
A7	465,003	463,65	0,3%	Tarik
A8	465,003	463,29	0,4%	Tarik
A9	-1122,125	-1119,55	0,2%	Tekan
A10	-1915,689	-1910,99	0,2%	Tekan
A11	-1915,689	-1910,9	0,2%	Tekan
A12	-3502,817	-3498,44	0,1%	Tekan
B1	0	0		
B2	0	0		
B3	0	0		
B4	0	0		
B5	0	0		
B6	0	0		
B7	0	0		
B8	0	0		
B9	-793,564	-790,52	0,4%	Tekan
B10	0	0		
B11	0	0		
B12	0	0		
C1	-1122,258	-1124,5	0,2%	Tekan
C2	1122,258	1116,03	0,6%	Tarik
C3	-1122,258	-1122,01	0,02%	Tekan
C4	0	0		
C5	0	0		
C6	0	0		
C7	1122,258	1121,07	0,1%	Tarik
C8	-1122,258	-1121,88	0,03%	Tekan
C9	1122,258	1114,73	0,7%	Tarik
C10	0	0		
C11	0	0		
C12	0	0		

PENUTUP

Kesimpulan

Penelitian ini menggunakan metode kekakuan, untuk analisa rangka batang ruang (struktur menara tangki air), diberikan beban vertikal konstan (beban air dan beban tangki) dan beban horisontal (beban gempa) pada rangka batang struktur menara tangki air untuk mengetahui displacement (perpindahan) dan gaya dalam ujung batang (gaya aksial) yang terjadi pada struktur menara tangki air.

1. Beban gempa yang di ubah menjadi beban nominal statik ekuivalen menyebabkan struktur menara tangki air mengalami perpindahan (displacement) dalam arah horisontal, displacement yang terjadi pada kondisi tangki air terisi penuh (0,2337 cm) lebih besar dibandingkan dengan displacement yang terjadi pada kondisi tangki air terisi setengah (0,1348 cm) dan kondisi tangki air dalam keadaan kosong (0,0363 cm).

2. Nilai gaya dalam ujung batang (gaya aksial) yang terjadi pada elemen-elemen batang ditentukan oleh perpindahan (displacement) yang terjadi pada kedua ujung dari elemen batang tersebut. Gaya aksial pada kondisi tangki air terisi penuh lebih besar (1258,567 kg “batang tarik” pada batang A12 dan -3502,817 kg “batang tekan” pada batang A6) dari gaya aksial yang terjadi pada kondisi tangki air terisi setengah (754,104 kg “batang tarik” pada batang A12 dan -1998,354 kg “batang tekan” pada batang A6) dan kondisi tangki air dalam keadaan kosong (219,1068 kg “batang tarik” pada batang A12 dan -524,4192 kg “batang tekan” pada batang A6).

Saran

Melakukan penelitian lebih lanjut pada struktur menara tangki air dengan penggunaan beban dinamis, serta sloshing yang terjadi pada tangki menara air akibat gempa.

DAFTAR PUSTAKA

- Clough W.R, Panzien J. 1993. *Dynamic of Structures*, McGraw-Hill, New York.
- Ghosh S.K, Fanella D.A. 2003. *Seismic and Wind Design of Concrete Buildings: (2000 IBC, ASCE 7-98, ACI 318-99)*, International Code Council.
- Nasution A. 2009. *Metode Matrik Kekakuan Analis Struktur*, Penerbit ITB, Bandung.
- Suhendro B. 2000. *Analisis Struktur Metode Matriks*, Edisi 2, Beta Offset, Yogyakarta.
- Susastrawan 1991. *Analisa Struktur dengan Cara Matriks*, Penerbit Andi OFFSET, Jogyakarta.
- Widodo 2001. *Respon Dinamik Struktur Elastik*, Penerbit UII Press, Yogyakarta.