



## Analisis Dinamis *Chimney* Beton Bertulang Akibat Variasi Percepatan Gempa

Gabriella A. Kaligis<sup>#a</sup>, Reky S. Windah<sup>#b</sup>, Banu D. Handono<sup>#c</sup>

<sup>#</sup>Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

<sup>a</sup>gabriellakaligis921@gmail.com, <sup>b</sup>rekywindah@gmail.com, <sup>c</sup>banu2h@unsrat.ac.id

### Abstrak

Perindustrian di Indonesia sedang berkembang dan bersaing dengan industri global, dibuktikan dengan adanya pembangkit listrik tenaga uap (PLTU). Salah satunya PLTU Sulut-3 2x50 MW di Kabupaten Minahasa Utara, Sulawesi Utara. *Chimney* merupakan bagian penting dari PLTU. Struktur *Chimney* yaitu struktur kantilever yang memiliki ketinggian puluhan meter yang rentan terhadap gaya lateral seperti gempa. Di Indonesia sendiri terletak di pertemuan tiga lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil sehingga sering mengalami gempa bumi berfrekuensi tinggi. Gempa bumi menyebabkan kerusakan dan kerugian yang besar pada bangunan. Penelitian ini difokuskan pada kekuatan struktur bangunan *chimney* pada PLTU Sulut-3 terhadap percepatan gempa yang akan diberikan. Tujuannya untuk mengetahui respons struktur terhadap gempa yang diambil dari rekaman gempa San Fernando 1971, Chi Chi Taiwan 1999, dan Kocaeli 1999. Metode yang digunakan yaitu *time history analysis* dengan bantuan program *SAP2000*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa gaya geser dasar terbesar diperoleh dari percepatan gempa San Fernando dan selaras dengan hasil perpindahan terbesar yang diperoleh dari gempa yang sama. Perpindahan arah X dan Y berbeda nilai dikarenakan struktur *chimney* memiliki bukaan pada bagian bawah struktur dan dianggap struktur tidak simetris.

*Kata kunci: chimney, analisis riwayat waktu, analisis dinamik, gempa bumi, SAP2000*

## 1. Pendahuluan

### 1.1. Latar Belakang

Perindustrian di Indonesia merupakan salah satu dari sekian banyak industri yang berkembang di dunia. Dibuktikan dengan adanya pembangkit listrik bertenaga uap (PLTU). PLTU yang tersebar di daerah Indonesia masih banyak yang kurang akan penerangan. Salah satu bagian dari PLTU yaitu *chimney* memiliki struktur beton bertulang dengan ketinggian mencapai puluhan meter. Pembangunan struktur bangunan ini berfungsi sebagai cerobong asap dengan sistem kerja membuang uap atau asap ke udara bebas. *Chimney* dibangun dengan ketinggian puluhan meter dengan bertujuan agar uap dapat tersebar dengan baik.

Bangunan yang memiliki ketinggian puluhan meter tentunya sangat rentan terhadap guncangan seperti gaya lateral termasuk gempa. Jika tidak direncanakan dengan baik sesuai dengan standar yang berlaku, bangunan tersebut akan mengalami kerusakan struktur yang berat hingga keruntuhan. Wilayah di Indonesia dilalui oleh jalur pertemuan tiga lempeng besar dunia dan beberapa lempeng kecil atau disebut *microblock* (Bird, 2003) yang berpotensi terjadinya gempa bumi. Gempa bumi juga merupakan bencana alam yang masih sulit diprediksi secara akurat, gempa bumi dapat datang secara tiba-tiba tanpa peringatan. Setiap gempa bumi memiliki variasi dan karakteristik getaran yang berbeda-beda. Gempa bumi dapat mengakibatkan kerugian yang besar terhadap bangunan, untuk itu perlu adanya perancangan dan analisis yang tepat, dan penelitian kali ini akan menggunakan data gempa dari rekaman percepatan gempa yang besar dari berbagai negara.

Penelitian ini difokuskan pada kekuatan struktur bangunan *chimney* terhadap percepatan

gempa yang akan diberikan. Beberapa kekuatan dan karakteristik dari data akselerogram gempa Chi Chi, San Fernando, dan Kocaeli yang terekam pada alat seismograf, akan diberikan dan dianalisis pada struktur ini untuk melihat respons kekuatan struktur sesuai dengan SNI 1726-2019.

Bagian PLTU *chimney* ini masih perlu untuk terus dilakukan pengevaluasian terhadap gaya gempa karena pengoperasian PLTU di lokasi penelitian *chimney* ini masih terus berjalan. Demikian dengan adanya penelitian ini, kiranya dapat membantu dalam menghindari kesalahan struktur atau bangunan roboh yang mana dapat menghentikan operasi pembangkit listrik yang ada. Lokasi penelitian ini berada di PLTU Sulut-3 2x50 MW di Desa Kema, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara.

Penelitian ini akan menganalisa secara dinamis dengan metode LTHA/*linear time history analysis*. Secara umum, dalam menganalisa gaya gempa terdapat dua cara yaitu analisa statik dan analisa dinamik. Analisis statik biasanya dengan metode gaya lateral statik ekuivalen sedangkan analisis dinamik terdapat dua metode yaitu ragam respon spektrum dan ragam riwayat waktu (*time history*). Perbedaannya yaitu analisis dinamis riwayat waktu dan analisis dinamis respon spektrum dapat memberikan pembagian gaya geser tingkat yang lebih tepat sepanjang tinggi gedung dibanding analisis statik (Wibowo. A.S, 2011).

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah yang ada yaitu “Bagaimana respons struktur *chimney* pada PLTU Sulut-3 2x50 MW terhadap variasi percepatan gempa dengan menggunakan metode analisis riwayat waktu yang ditinjau berdasarkan displacement dan base shear bangunan tersebut?”

### 1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah agar penelitian yang dilakukan tidak melebar dan terarah, yaitu:

1. Struktur bangunan *chimney* ini adalah bangunan non gedung beton bertulang.
2. Analisis dilakukan hanya pada struktur atas *chimney*, struktur bawah atau pondasi diabaikan.
3. Analisis hanya berfokus pada respons struktur gempa tanpa memperhitungkan struktur dalam seperti tulangan dan material.
4. Analisis dilakukan dengan program aplikasi SAP2000 v22.
5. Bangunan *chimney* yang akan dianalisis yaitu bangunan industri yang sudah ada dan terdapat pada PLTU Sulut-3 2x50 MW.
6. Metode analisis percepatan gempa menggunakan metode *Time-History Analysis*.
7. Untuk mendapatkan data rekaman akselerogram yang memiliki klasifikasi yang mirip dengan lokasi penelitian maka digunakan peta deagregasi.
8. Data variasi percepatan gempa menggunakan rekaman akselerogram gempa yang didapatkan dari *the PEER database*.
9. Rekaman gempa yang digunakan yaitu San Fernando (Whittier Narrows Dam, 1971), Kocaeli (Turkey, 1999), dan Chi-chi (Taiwan, 1999).
10. Massa yang terdistribusi di seluruh bagian struktur *chimney* diasumsikan terkumpul pada elevasi +20, +40, +47.5, +60, +75, +80.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis dan menghitung respons struktur akibat percepatan gempa pada *chimney* beton bertulang PLTU Sulut-3 2x50 MW dengan metode *time-history* yang ditinjau kembali berdasarkan displacement dan base shear menggunakan variasi percepatan gempa.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini yaitu :

1. Analisis struktur beton bertulang akibat percepatan gempa dengan metode *time-history* dapat mengetahui respons struktur terhadap variasi percepatan gempa.
2. Menjadikan hasil penelitian ini sebagai bahan evaluasi terhadap struktur bangunan *chimney* tersebut terhadap variasi percepatan gempa yaitu gempa San Fernando, Chi-Chi, dan Kocaeli.

3. Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan terhadap perencanaan struktur non gedung yang tahan gempa.

## 2. Metodologi Penelitian

### 2.1. Data Penelitian

- Data struktur yang akan di analisa adalah sebagai berikut:  
 Jenis struktur : Bangunan Non-gedung  
 Sistem Struktur : Beton Bertulang  
 Fungsi bangunan : Cerombong Asap pada Pusat Pembangkit Listrik  
 Lokasi Penelitian : PLTU Sulut 3 2x50 MW, desa Kema, Minahasa Utara, Sulawesi Utara.
- Data dimensi pemodelan struktur:

**Tabel 1.** Detail Dimensi *Chimney*

Elevation	Inner radius	Thickness	Outre radius
	(m)	(m)	(m)
80	1,7	0,2	1,90
70	1,8	0,2	2,00
60	1,9	0,24	2,14
50	2,16	0,24	2,40
40	2,46	0,28	2,74
30	2,72	0,28	3,00
20	3,32	0,32	3,64
11,05	3,817	0,32	4,14
6,6	4,084	0,32	4,40
0	4,48	0,32	4,80

- Data material:  
 Berdasarkan SNI 1726-2019.  
 Spesifikasi Beton :  
 Mutu Beton ( $f_c'$ ) : 35 MPa  
 Modulus Elastisitas beton : 27806 MPa  
 Shear Modulus, G : 10297.2 MPa  
 Berat jenis beton : 2400 kg/m<sup>3</sup>  
 Critical Damping : 0.05  
 Poisson's Ratio : 0.17

### 2.2. Pembebanan

Beban-beban yang bekerja pada struktur adalah beban gravitasi (beban mati dan beban hidup) dan beban lateral (beban gempa).

#### 1. Data Beban Mati

Beban mati akan dihitung secara otomatis oleh program SAP2000 dengan pilihan berat sendiri (selfweight), dengan basis data sebagai berikut:

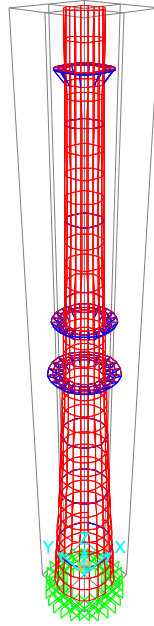
Berat jenis beton : 2400 kg/m<sup>3</sup>  
 Berat jenis platform baja : 7833 kg/m<sup>3</sup>

#### 2. Data Beban Hidup

Berdasarkan peraturan ASCE 7-16 Tabel 4.3-1 Minimum Uniformly Distributed Live Loads, Lo, and Minimum Concentrated Live Loads. Beban hidup terdistribusi pada *new platform* pada elevasi +40, +47.5, +75 sebesar 6 kN/m<sup>2</sup>.

### 2.3. Model Struktur

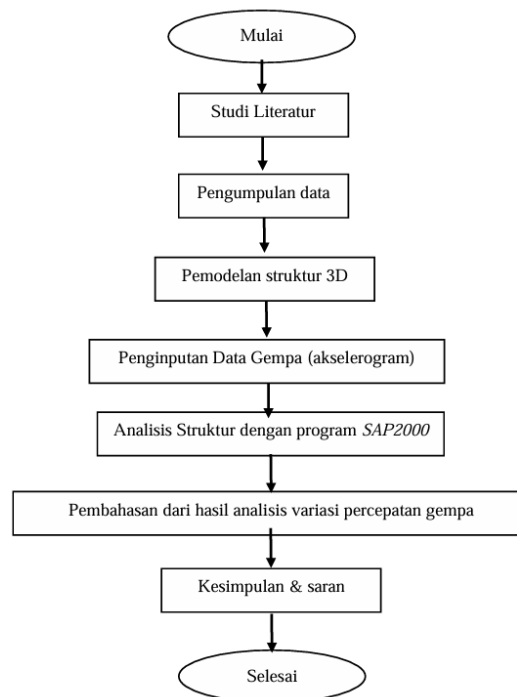
Struktur *chimney* dimodelkan secara 3D menggunakan aplikasi SAP2000 v22 berdasarkan data-data struktur yang ada pada *draft report chimney* PLTU yang sudah ada sebelumnya.



**Gambar 1.** Pemodelan 3D pada aplikasi SAP2000

#### 2.4. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian merupakan tahapan-tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian ini. Berikut diagram alir penelitian.



**Gambar 2.** Diagram Alir Penelitian

### 3. Kajian Literatur

#### 3.1. Uraian Umum

Menurut Yaqien (2012), *Chimney* merupakan cerobong asap yang terletak pada tempat pembakaran hasil pembuangan material seperti abu batubara (fly ash) yang berbentuk tabung silinder. *Chimney* juga bagian dari bangunan industri yang sangat penting dalam pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Chimney* pada PLTU sendiri berfungsi sebagai tempat menyaring sisa bahan material atau zat berbahaya hasil dari proses kerja PLTU dan disebar

ke udara bebas. Adanya *chimney* pada PLTU sendiri agar asap atau uap yang dibuang tidak secara langsung disebarkan di daerah kerja PLTU itu tetapi dapat disaring terlebih dahulu dan dikeluarkan jauh di atas pemukiman.

Struktur *chimney* dinilai sangat rentan terhadap guncangan seperti gaya lateral beban gempa karena strukturnya yang tinggi hingga puluhan meter. Struktur *chimney* didesain dengan perletakan kantilever yang memiliki diameter struktur paling atas lebih kecil dari diameter struktur paling bawah. Untuk mengantisipasi terhadap keruntuhan atau kegagalan akibat gaya dari luar maka struktur akan di evaluasi terhadap SNI 1726-2019 dengan melihat respons struktur akibat percepatan gaya gempa.

### 3.2 Analisis Dinamis

Dalam menganalisis suatu respons dinamik dalam sebuah struktur terdapat beberapa metode yaitu analisis ragam respons spektra (*Respons Spectrum*) dan analisis riwayat waktu (*Time History*). Dalam metode elastis terdapat dua pendekatan yang berbeda. Pertama, analisis ragam spektrum respon (*Respons Spectrum Modal Analysis*) yang mana respons maksimum dari setiap ragam getar diperoleh dari Spektrum Respons Rencana (*Design Spectra*). Yang kedua, analisis ragam riwayat waktu (*Time History Modal Analysis*), yang membutuh rekaman percepatan gempa. Metode ini melibatkan Solusi numerik persamaan diferensial gerak untuk setiap langkah waktu, sehingga memuat gambaran lengkap terkait perilaku dinamis struktur selama gempa berlangsung. Analisis dinamis elastis ini lebih sering digunakan karena kesederhanaannya dan efesiansinya dalam perhitungan (Wibowo, 2011).

### 3.3 Database Percepatan Gempa Dunia dari The PEER database

*The Pacific Earthquake Engineering Research (PEER)* yang berpusat di University of California Berkeley, memiliki kumpulan rekaman percepatan gempa yang sangat besar dari seluruh dunia. Basis data ini mencakup kumpulan gerakan tanah yang sangat besar yang direkam di seluruh dunia dari gempa kerak dangkal di wilayah tektonik aktif. Basis data ini memiliki salah satu set metadata paling komprehensif, termasuk berbagai ukuran jarak, karakteristik situs yang berbeda, dan data sumber gempa bumi. Data percepatan gempa ini dapat digunakan untuk membantu dalam analisis suatu struktur bangunan gedung maupun non gedung.

## 4. Hasil dan Pembahasan

### 4.1. Klasifikasi Situs & Kategori Risiko

**Tabel 2.** Nilai N-SPT

Elevasi	Kedalaman, d (m)	Kedalaman, d (ft)	N-SPT	$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n N_i}$
0 to -2,5	2,5	8.2	27	0.304
-2,5 to -5	2,5	8.2	50	0.164
-5 to -7,5	2,5	8.2	50	0.164
-7,5 to -10	2,5	8.2	50	0.164
-10 to -12,5	2,5	8.2	50	0.164
-12,5 to -15	2,5	8.2	50	0.164
-15 to -17,5	2,5	8.2	50	0.164
-17,5 to -20	2,5	8.2	50	0.164
-20 to -22,5	2,5	8.2	50	0.164
$\sum d$ (m)	22,5	73.8	$\sum N$	1.616
			$\bar{N}$	45.677

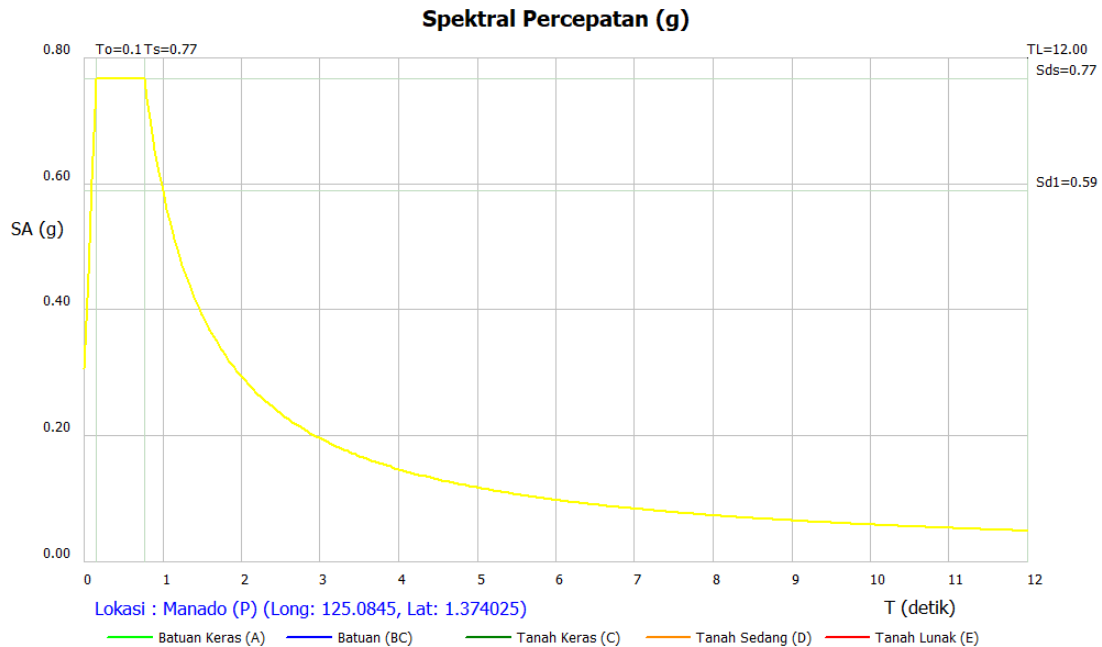
Kategori SD (Tanah Sedang)

Klasifikasi situs didapatkan melalui investigasi tanah berdasarkan SNI 1726-2019 yaitu dengan didapatkan dari nilai N-SPT. Nilai N-SPT sebesar 45.677 termasuk pada kategori tanah sedang (SD).

Kategori risiko bangunan non-gedung untuk gempa sesuai SNI 1726-2019 yaitu bangunan dengan jenis pemanfaatan sebagai fasilitas pusat pembangkit Listrik yaitu IV dan factor keutamaan gempa,  $I_e$  sebesar 1,5.

#### 4.2. Parameter Respons Spektrum

Nilai Ss	= 1,076 g	Nilai Sds	= 0,767 g
Nilai S1	= 0,486 g	Nilai Sd1	= 0,588 g
Nilai PGA	= 0,485 g	Nilai T <sub>0</sub>	= 0,153 det
Nilai Fa	= 1,069 g	Nilai T <sub>s</sub>	= 0,767 det
Nilai Fv	= 1,813 g		



**Gambar 3.** Grafik Respons Spektrum SNI 1726-2019

Sumber : *Apk Spektrum Respons Desain Indonesia 2021*

Nilai modifikasi respons (R)	= 2
Faktor kuat lebih system ( $\Omega_0$ )	= 1,5
Faktor pembesaran defleksi (Cd)	= 2
Nilai 1/R	= 0,75

#### 4.3. Data Rekaman Percepatan Gempa

Untuk pemilihan rekaman akselerogram, digunakan buku peta deagregasi yang mana dapat membantu dalam menentukan rekaman gempa yang berada di daerah Indonesia. Peta deagregasi ini memberikan sebuah gambaran nilai M (Magnitudo) dan R (jarak pusat gempa) yang dominan terhadap sumber gempa sebagai nilai target spektrum percepatan yang dihasilkan untuk digunakan dalam mencari rekaman akselerogram yang sesuai untuk kondisi wilayah tertentu. Setelah parameter dari peta deagregasi didapatkan, akan dicari rekaman akselerogram pada *ground motion* yang dimiliki oleh *The PEER database*. Langkah-langkah untuk mendapatkan rekaman percepatan gempa yaitu :

1. Menentukan periode ulang gempa  
Untuk mengetahui respons struktur akibat variasi percepatan dan membandingkannya antara beberapa variasi gempa maka dipilih berdasarkan periode ulang gempa yang yaitu periode ulang 2500 tahun.
2. Menentukan kecepatan gelombang geser dari kelas situs,  $\bar{V}_s$   
Berdasarkan SNI 1726-2019 pada tabel klasifikasi situs dapat ditentukan nilai  $\bar{V}_s$  yaitu sebesar 150-350 m/s.
3. Memilih sumber gempa yang akan dipakai dalam memilih jarak dan magnitudo  
Sumber gempa ini akan digunakan dalam penelitian ini yaitu subduksi intraslab (*Benioff*), sesar dangkal (*Shallow Crustal*), dan subduksi *interface* (*Megathrust*). Masing-masing sumber gempa memiliki nilai magnitudo dan jarak pusat gempa yang berbeda-beda yang disesuaikan dengan lokasi penelitian.
4. Menentukan periode getar

Pada peta gempa hanya memiliki 2 variasi periode getar yaitu periode getar 0,2 detik sebagai periode getar pendek dan 3 detik yang mewakili periode getar panjang. Penelitian ini memiliki periode getar panjang sebesar 12 detik. Maka dipilih periode getar 3 detik mewakili periode getar panjang.

5. Menentukan Magnitudo (M) dan Jarak Pusat (R) berdasarkan Peta Deagregasi Indonesia.

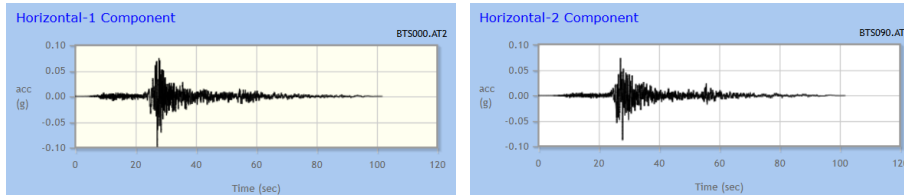
**Tabel 3.** Nilai Jarak Pusat Gempa dan Magnitudo berdasarkan Peta Deagregasi Indonesia

Sumber gempa	Jarak Gempa (R)	Magnitudo (M)
Benioff	120 - 150	7,4 - 7,6
Shallow C	30 - 40	6,6 - 6,8
Megathrust	150 - 200	8,2 - 8,4

6. Menentukan rekaman percepatan gempa pada *Ground Motion Database (The PEER database)*

- Gempa Kocaeli 1999

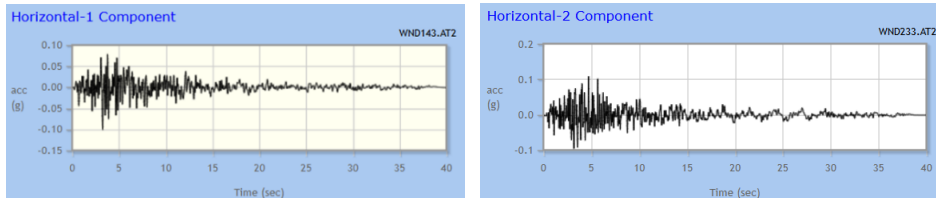
Jumlah data : 20347 data  
 Selang waktu per data: 0.05 detik  
 Total waktu : 101.735 detik



(a) (b)  
**Gambar 4.** Percepatan gempa Kocaeli a) Arah X dan, b) arah Y

- Gempa San Fernando 1971

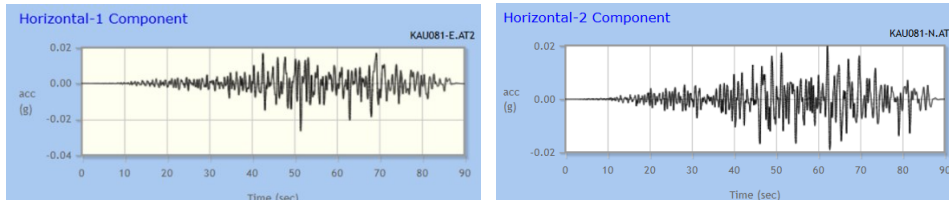
Jumlah data : 8000 data  
 Selang waktu per data: 0.05 detik  
 Total waktu : 40 detik



(a) (b)  
**Gambar 5.** Percepatan gempa San Fernando a) Arah X dan, b) arah Y

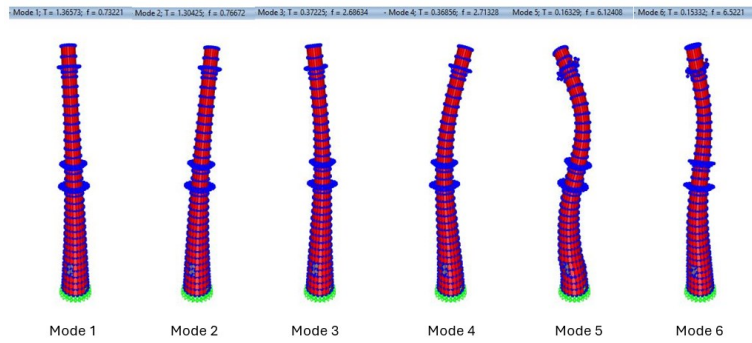
- Gempa Chi Chi 1999

Jumlah data : 18000 data  
 Selang waktu per data: 0.05 detik  
 Total waktu : 90 detik



(a) (b)  
**Gambar 6.** Percepatan gempa Chi Chi a) Arah X dan, b) arah Y

4.4. Partisipasi Massa



Gambar 7. Mode Shape

Pada *mode shape* yang dihasilkan pada SAP2000 menunjukkan kecenderungan struktur bergoyang ketika terdapat getaran tanah dengan periode waktu berjalan. Tergambarkan bahwa periode yang dominan pada mode yang ke 1 dan 2. Menurut SNI 1726-2019, perhitungan respons dinamik struktur harus memiliki jumlah partisipasi massa ragam terkombinasi sekurang-kurangnya 90% dari massa actual struktur yang tinjau oleh modal. Berdasarkan perhitungan SAP2000, tabel dibawah ini menunjukkan bahwa, partisipasi massa yang memenuhi persyaratan terdapat pada mode shape ke-18 dan berikutnya sudah memenuhi syarat minimal sebesar 90% disetiap arah X dan arah Y.

Tabel 4. Jumlah Partisipasi Massa

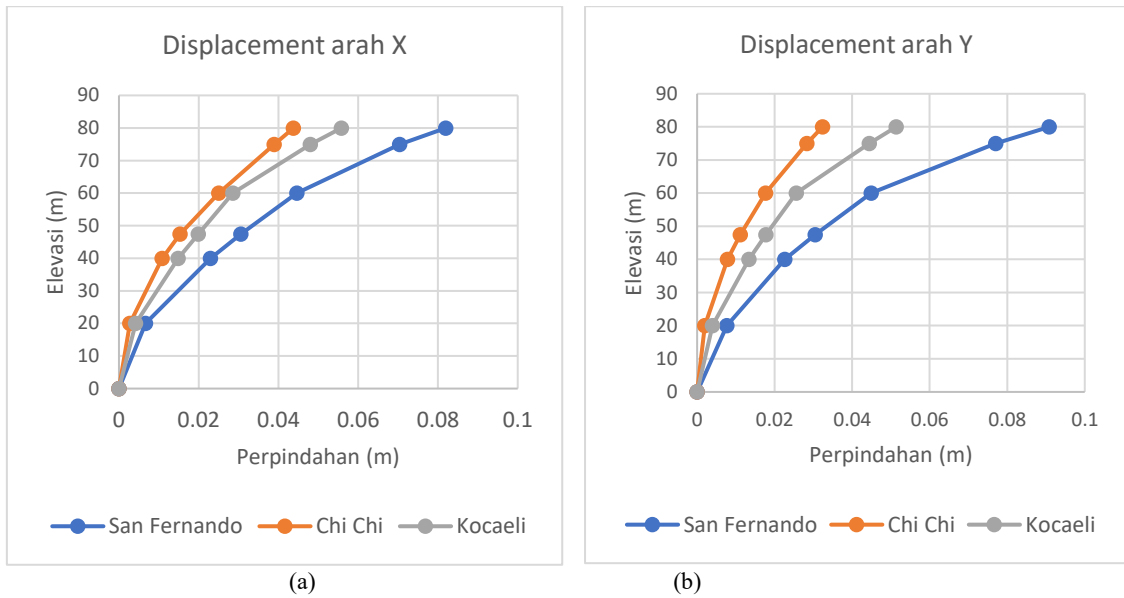
Mode	Period	SumUX	SumUY
1	1.365733	0.38121	0.04481
2	1.30425	0.42459	0.41529
3	0.372253	0.61323	0.45122
4	0.368558	0.65176	0.66703
5	0.16329	0.66385	0.78797
6	0.153325	0.76769	0.79804
7	0.136567	0.76769	0.79804
8	0.123928	0.76769	0.79807
9	0.11292	0.76774	0.79807
10	0.104741	0.76776	0.80046
11	0.103497	0.76926	0.80052
12	0.09604	0.77379	0.84383
13	0.088237	0.84456	0.85104
14	0.063268	0.84472	0.86098
15	0.05915	0.89101	0.86277
16	0.054319	0.89179	0.87372
17	0.040988	0.94085	0.8749
18	0.036275	0.94444	0.94916
19	0.023342	0.99338	0.94925
20	0.021995	0.9936	0.9934

4.5. Nilai Joint Displacement

Tabel 5. Hasil Joint Displacement

Titik Joint	Tinggi antar Tingkat	San Fernando		Chi Chi		Kocaeli	
		Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
		m	m	m	m	m	m
4	80	0.08201	0.090835	0.043795	0.032352	0.055818	0.051354
69	75	0.07044	0.077026	0.038976	0.028345	0.048067	0.044427
10	60	0.04465	0.044911	0.025083	0.017654	0.028567	0.025633
49	48	0.0306	0.030518	0.015375	0.011184	0.019924	0.017769
8	40	0.02298	0.022638	0.01085	0.007858	0.014862	0.01337
6	20	0.00666	0.007667	0.00272	0.002006	0.004188	0.003984

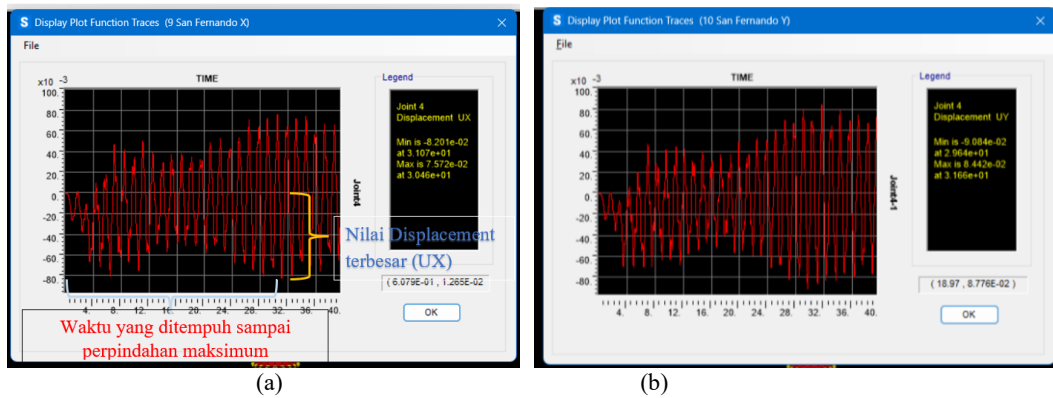




Gambar 8. Grafik displacement per elevasi a) Arah X dan, b) arah Y

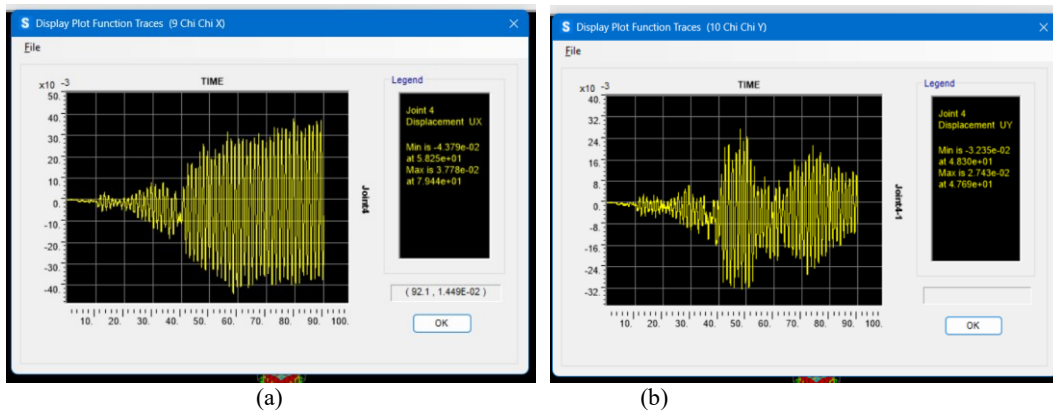
Pada output perhitungan SAP2000, perpindahan yang dialami struktur meningkat dari bawah struktur hingga pada bagian puncak struktur, mengalami perpindahan paling besar. Rata-rata perpindahan yang terjadi antara tiga gempa terjadi disekitar nilai 0.05 m - 0.06 m. Ketiga gempa ini memiliki pola perpindahan yang mirip jika dilihat dari grafik perpindahan arah X maupun arah Y.

4.5.1. Output displacement gempa pada SAP2000



Gambar 9. Displacement San Fernando pada joint 4 a) Arah X dan, b) arah Y

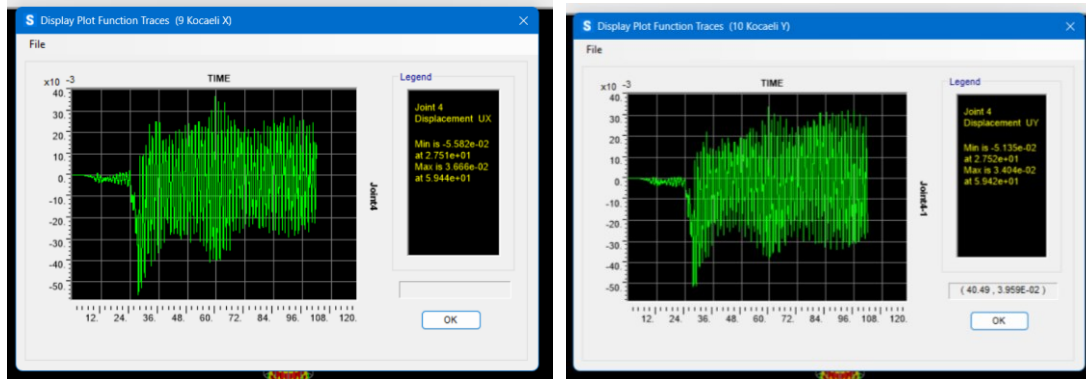
Pada trase tersebut menunjukkan bahwa joint 4 Displacement UX memiliki perpindahan maksimal sebesar 0.082006 m pada waktu 31.07 detik dan UY memiliki perpindahan maksimal sebesar 0.090835 m pada waktu 29.64 detik dari awal gempa San Fernando.



Gambar 10. Displacement Chi-Chi pada joint 4 a) Arah X dan, b) arah Y

Pada trase tersebut menunjukkan bahwa joint 4 Displacement UX memiliki perpindahan

maksimal sebesar 0.043795 m pada waktu 58.25 detik dan UY memiliki perpindahan maksimal sebesar 0.032352 m pada waktu 48.30 detik dari awal gempa Chi-chi.



Gambar 11. Displacement Kocaeli pada joint 4 a) Arah X dan, b) arah Y

Pada *trase* tersebut menunjukkan bahwa joint 4 Displacement UX memiliki perpindahan maksimal sebesar 0.055818 m pada waktu 27.51 detik dan UY memiliki perpindahan maksimal 0.051354 m pada waktu 27.52 detik dari awal gempa Kocaeli.

4.6. Nilai Gaya Geser Dasar

Nilai base shear atau gaya geser dasar adalah total gaya lateral yang diterima oleh struktur akibat gempa bumi, nilai base shear akan menggambarkan seberapa besar gaya lateral akibat gempa yang harus ditahan oleh struktur *chimney* ini.

Tabel 6. Hasil Base Shear dari SAP2000

Nama Gempa	Base Shear Dinamik (kN)		Base Shear Statik (kN)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
San Fernando	3052.593	3687.05	6293.694	6590.381
Chi – Chi. Taiwan	720.295	626.668		
Kocaeli, Turkey	1757.76	1625.452		

4.6.1. Kontrol Base Shear

Hasil dari gaya geser dasar dari analisis dinamik ( $V_t$ ) harus memenuhi syarat  $V_t \geq V$ , di mana  $V$  adalah gaya geser dasar yang dihitung menggunakan metode statik ekuivalen. Jika  $V_t < V$ , maka nilai  $V_t$  harus disesuaikan dengan factor koreksi dengan cara dikalikan dengan  $V/V_t$ . Gaya reaksi dasar yang telah terkoreksi untuk arah X dan Y dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 7. Hasil Base Shear Terkoreksi

Nama Gempa	Base Shear Dinamik (kN)		Base Shear Statik (kN)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
San Fernando	6293.693	6590.382	6293.694	6590.381
Chi – Chi. Taiwan	6293.695	6590.38		
Kocaeli, Turkey	6293.693	6590.381		

4.7. Gaya – Gaya Dalam

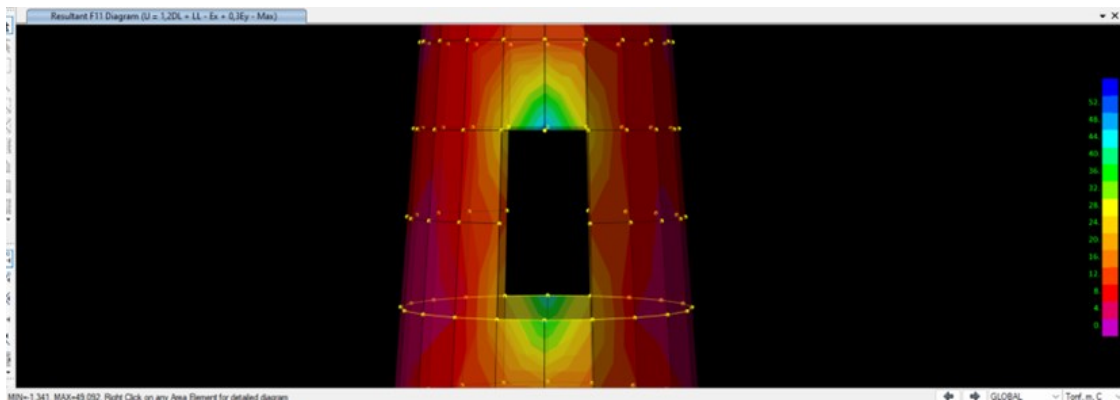
Terdapat gaya-gaya dalam seperti gaya aksial dan momen yang dihasilkan oleh struktur *chimney* akibat pembebanan dan gaya lateral gempa. Diambil kombinasi pembebanan struktur yang dianggap paling kritis dan dapat memperlihatkan besaran gaya yang maksimum. Dikarenakan hasil dari perpindahan dan gaya geser terbesar terdapat pada struktur yang diberikan percepatan gempa San Fernando, maka untuk output akan diambil dari struktur penampang dengan kombinasi pembebanan gaya gempa San Fernando.

**Tabel 8.** Output SAP2000 Gaya Aksial Penampang

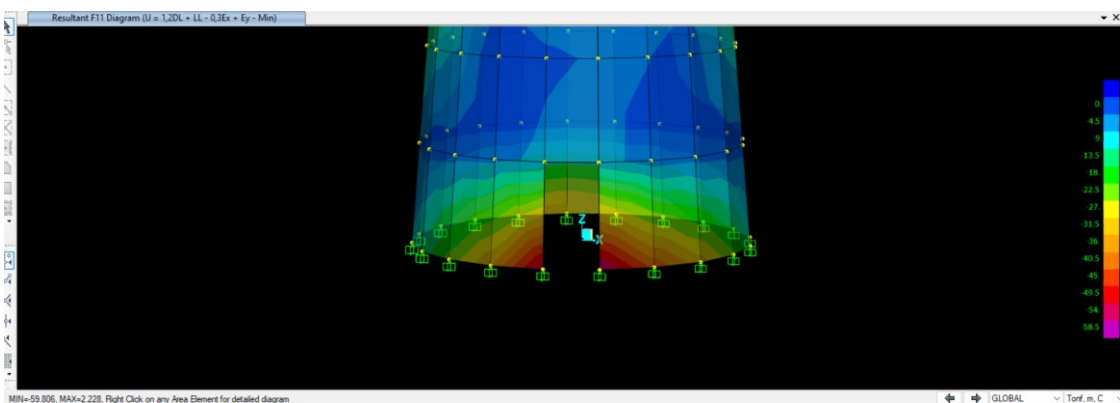
Kombinasi Beban	Gaya Normal (tonf/m)	
	<b>Arah X</b>	
$U = 1,2DL + LL - Ex + 0,3Ey$	49.092	Tarik
$U = 1,2DL + LL - 0,3Ex + Ey$	-59.806	Tekan
	<b>Arah Z</b>	
$U = 0,9DL + 0,3Ex - Ey$	159.09	Tarik
$U = 1,2DL + LL - 0,3Ex + Ey$	-351.237	Tekan
	<b>Arah X-Y</b>	
$U = 1,2DL + LL - 0,3Ex + Ey$	65.772	Tarik
$U = 1,2DL + LL - 0,3Ex + Ey$	-66.422	Tekan

**Tabel 9.** Output SAP2000 Momen Lentur dan Momen Puntir penampang

Kombinasi Beban	Gaya Momen (tonf-m/m)	
	<b>M11</b>	
$U = 0,9DL - 0,3Ex + Ey$	9.26166	
$U = 1,2DL + LL + 0,3Ex - Ey$	-9.36499	
	<b>M22</b>	
$U = 1,2DL + LL - 0,3Ex + Ey$	8.39795	
$U = 0,9DL + 0,3Ex - Ey$	-6.41607	
	<b>M12</b>	
$U = 1,2DL + LL + Ex + 0,3Ey$	2.50805	
$U = 1,2DL + LL + Ex + 0,3Ey$	-2.52826	



**Gambar 12.** Output Resultan F11 (Gaya normal-tarik arah X)



**Gambar 13.** Output Resultan F11 (Gaya normal-tekan arah X)

Hasil dari resultan gaya ini menunjukkan bahwa gaya normal terbesar, baik gaya tarik maupun gaya tekan, terjadi di sekitar bukaan struktur *chimney*. Bukaan ini mengganggu distribusi gaya yang seharusnya merata, menyebabkan gaya berkumpul di tepi bukaan. Konsentrasi tegangan dan perubahan kekakuan lokal di sekitar bukaan juga menyebabkan peningkatan gaya normal, menjadikannya area dengan gaya tarik dan tekan terbesar dalam struktur *chimney*.

## 5. Kesimpulan

Berdasarkan Setelah melalui serangkaian perhitungan dan analisis struktur *Chimney* menggunakan metode *time history analysis* pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada analisis struktur *chimney* ini menunjukkan bahwa pada mode getar ke 18, partisipasi massa terpenuhi setidaknya 90% dari total keseluruhan partisipasi massa (sesuai dengan SNI 1726-2019), yang mana analisis modal yang dilakukan sudah komprehensif dan mencakup sebagian besar respons dinamis struktur *chimney*.
2. Perbandingan gaya geser dasar (*base shear*) pada gempa San Fernando, Chi Chi, dan gempa Kocaeli, ditemukan bahwa hasil terbesar didapatkan dari beban gempa San Fernando sebesar 3052.593 kN untuk arah X dan sebar 3687.05 kN untuk arah Y
3. Untuk besarnya perpindahan yang dialami struktur didapati bahwa gempa San Fernando yang memiliki perpindahan terbesar diantara gempa lainnya. Perpindahan maksimum terjadi pada puncak struktur pada joint 4 yaitu sebesar 0.082006 m untuk arah X dan 0.090835 m untuk arah Y. Perbedaan nilai perpindahan antara arah X dan Y dikarenakan struktur yang tidak aksi simetri yang mana terdapat bukaan di bagian bawah struktur.
4. Struktur mengalami perpindahan/*displacement* yang signifikan karena gempa San Fernando antara gempa lainnya dan *base shear* yang diterima pun cukup besar sehingga keduanya saling memengaruhi struktur *chimney* tersebut.

## 6. Saran

Berdasarkan pada pembahasan sebelumnya, agar studidan ilmu lebih luas dan detail penulis menyarankan beberapa poin sebagai berikut alah:

1. Evaluasi struktur *chimney* berdasarkan periode ulang gempa kecil, sedang, hingga besar.
2. Penskalaan rekaman gerakan tanah/akselerogram gempa dengan kwadrat selisih yang minimum antara spektrum respons gerakan tanah dengan spektrum target (*minimum least squares method*).
3. Penulis merasa kurang akan literatur penelitian mengenai detail struktur *chimney* yang dapat diakses dengan mudah, untuk itu disarankan untuk melakukan penelitian dengan topik perencanaan *chimney* beton bertulang.

## Referensi

- ACI Committee 307. (1998). *Design and Construction of Reinforced Concrete Chimneys (ACI 307-98)*. American Concrete Institute.
- Badan Standarisasi Nasional. (2019). *Standar Nasional Indonesia 1726-2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Nongedung*. Jakarta.
- Bird, P. (2003). *An updated digital model of plate boundaries*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 4(3), 1027.
- Budio, S. P. (2013). *Buku Ajar Dinamika*. Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Brawijaya.
- Chopra, Anil K. (2012). *Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering*, 4th Edition. Prentice Hall.
- Nasional, P. S. G. (2022). *Peta Deagregasi Bahaya Gempa Indonesia untuk Perencanaan dan Evaluasi Infrastruktur Tahan Gempa*. Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Paz, Mario., Leigh, William. (1996). *Dinamika Struktur Teori dan Perhitungan*. Edisi 2. Massachusetts.
- Prakoso, S. B., Naibaho, P. R. T., Sembiring, K. (2022). *Analisis Kinerja Struktur Gedung Rumah Sakit Berdasarkan SNI Gempa 1726-2019 (Studi Kasus: Rsia Bunda Aliyah Depok-Jawa Barat)*. *Jurnal Kajian Teknik Sipil*, 7(1), 42-55.
- Putri, A. P., Fadilah, M. R. R. A., & Khala, C. C. S. (2021). *Analisis Kinerja Seismik Struktur Bangunan Beton Bertulang 10 Lantai dengan Metode Respons Spektrum dan Time History*. *Jurnal Infrastruktur*, 7(2), 79-85.
- The PEER Strong Ground Motion Database*. (n.d). Diambil dari <http://peer.berkeley.edu/nga/>
- Wibowo, A. S. (2011). *Analisis Kinerja Struktur pada Bangunan Bertingkat tidak Beraturan dengan Analisis Dinamik Menggunakan Metode Analisis Riwayat Waktu*. Universitas Sebelas Maret Surakarta, Indonesia
- Yaqien, A., & Octavia, A. (2012). *Perencanaan Struktur Chimney (Cerobong Asap) di PLTU Kabupaten Lahat Sumatera Selatan*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia