

ANALISIS DINAMIK STRUKTUR MENARA USM DENGAN METODE RESPONS SPEKTUM

Trias Widorini^{1,*}), Ngudi Hari Crista¹⁾, Kukuh Wisnuaji Widiatmoko¹⁾

¹⁾*Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Semarang*

Jl. Soekarno-Hatta, Kota Semarang

^{*)}*Email : triaswidorini@usm.ac.id*

Abstract

The USM tower consists of 10 floors used as offices, parking and educational facilities with a total height of 48.5 m. Earthquake resistance analysis needs to be carried out on buildings built in earthquake areas. This study uses dynamic analysis with the response spectrum method, aiming to evaluate the structure according to SNI 1726:2012. What is reviewed in this study is the period, base shear, drift, and the level of building performance. The results of the analysis show that the period, base shear, drift and the maximum deviation meet the specified requirements. The USM Tower's performance level is Immediate Occupancy according to ATC-40 regulations.

Kata kunci : *drift, base shear, response spectrum, dynamic analysis*

PENDAHULUAN

Latar belakang pendirian Menara USM adalah bertambah tingginya minat masyarakat untuk melanjutkan pendidikan di Universitas Semarang (USM), hal ini terbukti dengan meningkatnya jumlah mahasiswa di USM. Dampak semakin meningkatnya jumlah mahasiswa maka kebutuhan sarana dan prasarana seperti lahan parkir kendaraan roda empat, ruang serbaguna, ruang kantor, ruang kuliah, ruang perpustakaan, ruang Unit Kegiatan Mahasiswa dan lain-lain. Banyaknya penambahan ruang yang dibutuhkan tersebut namun terkendala lahan yang ada, sehingga diperlukan bangunan tinggi yang dapat memenuhi kebutuhan tersebut. Maka salah satu wujud Yayasan Universitas Semarang dalam peningkatan kualitas sarana dan

prasarana pendidikan adalah dengan membangun Menara USM.

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak di tengah daerah cincin api pasifik, terdapat banyak gunung api aktif, pertemuan antar lempeng tektonik dan jalur sabuk alpine. Kondisi tersebut membuat Indonesia termasuk negara dengan kategori tingkat kerawanan gempa yang cukup tinggi. Pada tahun 2017 Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat menerbitkan peta zona gempa di Indonesia untuk kebutuhan pembangunan dan kewaspadaan,

Menurut (Nur, 2010) gempa bumi adalah getaran alam yang berasal dari dalam bumi dan kemudian menyebar ke permukaan bumi, akibatnya timbul rekahan pada bumi yang pecah dan bergetar dengan hebat.

Gempa bumi merupakan bencana alam yang belum dapat diperkirakan besar dan waktu terjadinya. Intensitas gempa bervariasi dari gempa kecil, gempa sedang dan gempa besar. Beban gempa menjadi faktor yang penting untuk diperhitungkan dalam merancang bangunan tinggi karena gempa berpotensi menimbulkan guncangan dan goyangan yang dapat merusak struktur bangunan. Untuk itu suatu struktur bangunan harus dirancang dengan baik untuk dapat menahan beban gempa yang bekerja padanya.

Selain itu, analisis ketahanan gempa perlu dilakukan pada gedung yang dibangun di daerah gempa. (Afrida, Wahyuningtyas, & Krisnamurti, 2020) mengevaluasi struktur Gedung Apartemen Surabaya menggunakan analisis dinamik metode respon spektrum yang ditinjau *base shear*, *drift* dan *displacement*. (Harahap & Fauzan, 2019) melakukan penelitian perilaku dinamik pada struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap beban gempa dengan tinjauan nilai periode getar, nilai kekakuan, *mode shape* dan gaya geser dasar menggunakan aplikasi ETABS.

Menara USM terletak di jalan Soekarno Hatta, Semarang, memiliki 10 lantai dimana kolam renang berada pada lantai atas dan tiap lantainya memiliki fungsi penggunaan yang berbeda-beda. Dampak dari kebutuhan arsitek dan penggunaan fungsi tiap lantai yang berbeda membuat ukuran dan perletakan balok dan kolom yang tidak seragam sehingga menimbulkan kekakuan yang berbeda. Oleh karena itu perlu adanya analisis dinamik

struktur Menara USM akibat beban gempa dengan metode respons spektrum.

METODE PENELITIAN

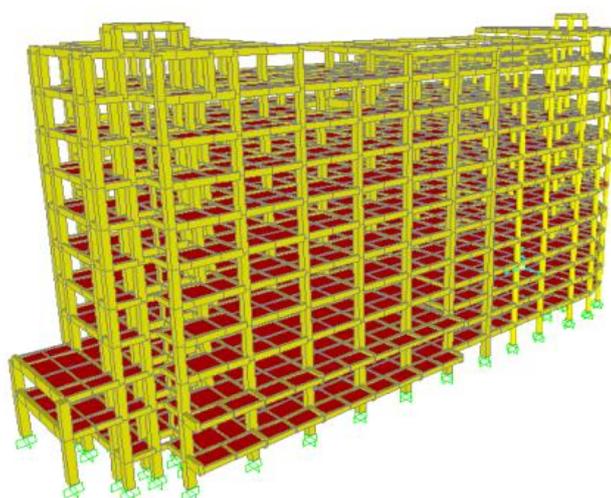
Penelitian ini menggunakan analisis dinamik struktur dengan metode respon struktur. Analisis menggunakan dengan bantuan program *software* SAP 2000 V.14. Penelitian terbagi menjadi tiga tahap yaitu pemodelan struktur, perhitungan respon spektrum dan perhitungan respon struktur terhadap beban rencana. Dari gambar desain arsitektur yang diperoleh, maka dilakukan pemodelan 3D struktur. Tahap setelah pemodelan adalah memasukkan beban yang diterima struktur. Beban yang dimasukkan adalah beban mati, beban hidup dan beban gempa. Mutu beton yang digunakan adalah $f'c = 30$ MPa untuk pelat dan balok, sedangkan kolom menggunakan $f'c = 32$ MPa. Baja tulangan yang digunakan adalah baja ulir dengan tegangan leleh sebesar $f_y = 390$ MPa. Dari hasil analisis menggunakan bantuan aplikasi *software* SAP 2000 V.14 maka didapatkan *drift*, *displacement* dan *base shear* yang bekerja pada struktur bangunan. Menara USM direncanakan pada tahun 2018, sehingga peraturan yang digunakan untuk analisis dinamis dengan metode respon spektrum yang pada berlaku pada saat itu adalah SNI 1726:2012 Tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Struktur

Menara USM terdiri dari 10 lantai dimana tiap lantai mempunyai fungsi yang berbeda-beda antara lain lantai P1 hingga P5 untuk parkir roda empat, L1 untuk auditorium, L2 untuk ruang Rektorat, L3 untuk ruang lembaga, L4 untuk Unit Kegiatan Mahasiswa, L5, L6 dan L7 untuk ruang perkuliahan, L8 dan L9 untuk perpustakaan dan L10

ruang serbaguna dan kolam renang Tipe balok ada 10 yaitu B-25x45, B-25x50, B-25x65, B-30x60, B-30x65, B-35x65, B-35x75, B-35x80, B-45-75 dan B-45x120. Tipe kolom ada 8 yaitu K1 (90x90), K2 (80x80), K3 (70x70), K4 (40x40), K5 (30x30) K1' (Ø 90), K2' (Ø 80) dan K3' (Ø 70). Hasil pemodelan struktur menggunakan SAP 2000 V.14 dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pemodelan struktur

Spektrum Respon Desain

Struktur gedung Menara USM yang direncanakan ini termasuk ke dalam kategori gedung dan fasilitas pendidikan memiliki kategori resiko IV maka diperoleh faktor keutamaan gempa, $I_e = 1,50$. Hasil penyelidikan tanah pada lokasi Gedung Menara USM diklasifikasikan SE (tanah lunak). Menara USM terletak pada lintang -6.981962115116445 dan bujur 110.45238068870553. Berdasarkan lokasi, kategori resiko dan klasifikasi tanah diperoleh parameter desain

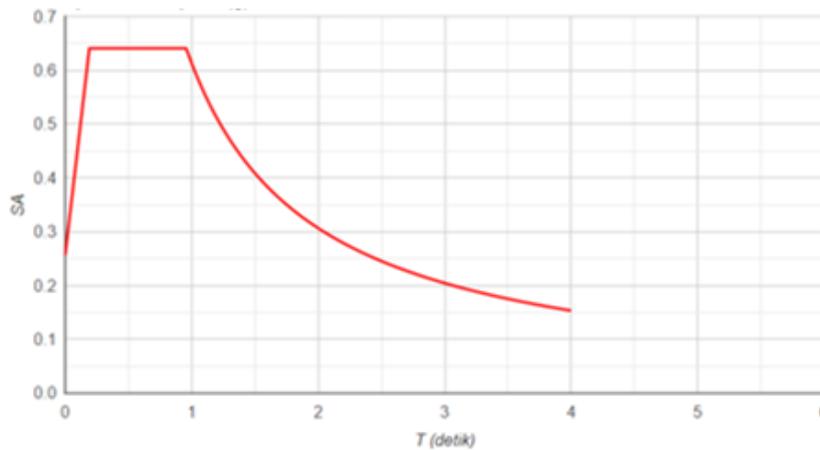
respon spektra yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai parameter respon spektrum

<u>Variabel</u>	Nilai	<u>Variabel</u>	Nilai
GA (g)	0.476	PSA (g)	0.428
S _S (g)	1.068	S _{MS} (g)	0.961
S _I (g)	0.358	S _{M1} (g)	0.919
C _{RS}	0.891	S _{DS} (g)	0.641
C _{RI}	0.000	S _{D1} (g)	0.613
F _{PGA}	0.900	T ₀ (detik)	0.191
F _A	0.900	T _S (detik)	0.956
F _V	2.568		

Dari data nilai *respon spectra* maka didapat grafik respon spektrum dapat

dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Respon Spektrum

Kategori Resiko IV dengan $S_{DS} = 0,64$ g dan $S_{D1} = 0,613$ g diperoleh Kategori Desain Seismik-KDS adalah D. Material yang dipilih beton bertulang dan sistem penahan gaya seismik yang dijadikan adalah Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Khusus, didapat nilai $R = 8$; $\Omega = 3$ dan $Cd = 5,5$.

Gaya Geser Dasar

Dari hasil analisis diperoleh nilai gaya geser dasar statik dan gaya geser dasar dinamik arah X dan Y yang dapat dilihat pada tabel 2. Menurut SNI 1726:2012, perlu adanya kontrol terhadap nilai gaya geser dasar

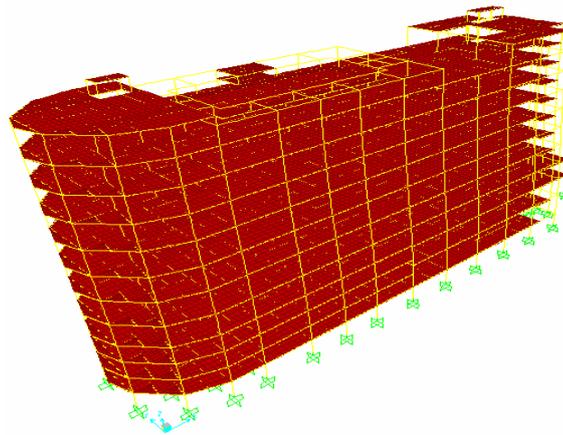
tersebut. Nilai kontrol gaya geser dasar dinamik minimal adalah 85% dari gaya geser statik yang diperoleh. Dari tabel 2, dapat dilihat bahwa $V_{dinamik} < 85\% V_{statik}$ maka perlu koreksi skala gaya sebesar 1,2333 untuk arah X dan 1,2594 untuk arah Y.

Periode, Mode Shape dan Partisipasi Massa

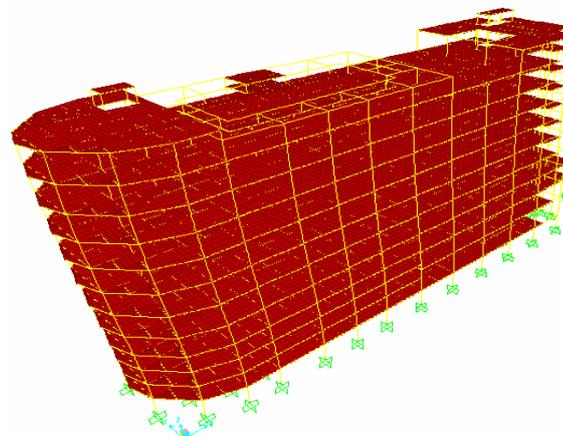
Dari hasil perhitungan periode Menara USM sebesar 0,697236 detik yang dapat dilihat pada *mode shape* pertama seperti pada Gambar 3 dan tabel 3. Nilai periode tersebut kurang dari periode getar maksimum yaitu sebesar 2,1463 detik.

Tabel 2. Analisis gaya geser Menara USM

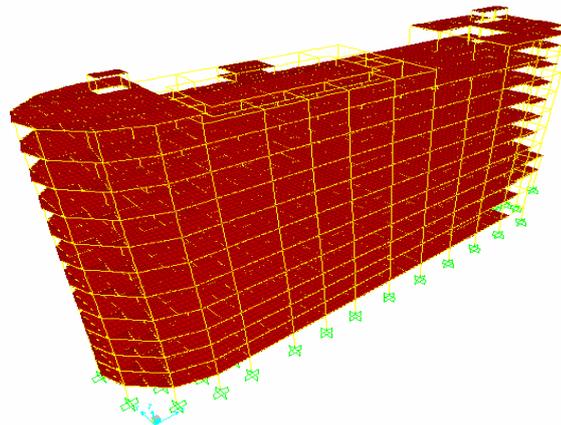
Beban Gempa	V (kN)	85% V_{statik} (kN)	$V_{dinamik}$ (kN)	Keterangan	Koreksi faktor skala
Arah X	32981,33	28034,1271	22730,64	tidak ok	1,2333
Arah Y	36335,4	30885,0892	24523,46	tidak ok	1,2594



Gambar 3. Ragam getar 1 Menara USM, $T = 0,697236$ detik



Gambar 4. Ragam getar 2 Menara USM, $T = 0,635598$ detik



Gambar 5. Ragam getar 3 Menara USM, $T = 0,59267$

Analisis harus mencakup jumlah ragam yang cukup untuk menghasilkan kombinasi ragam partisipasi massa setidaknya 90 persen dari massa aktual di setiap arah horizontal ortogonal dari respons model yang ditinjau. Dari hasil

analisis dapat dilihat pada Tabel 3, pada *Mode* ke 11 menghasilkan respon total arah X adalah 90% dan arah Y adalah 92%, sehingga jumlah ragam (mode) sudah mencukupi.

Tabel 3. Nilai partisipasi massa arah X dan Y Menara USM

Mode	Periode detik	UX (%)	UY (%)	RZ (%)	SumUX (%)	SumUY (%)
1	0,697236	0,0291	67,9211	48,9097	0,0291	67,9211
2	0,635598	69,2413	0,0283	1,9998	69,2705	67,9494
3	0,59267	0,1146	0,0115	18,0051	69,3851	67,9609
4	0,220372	0,0088	12,4936	7,1951	69,3939	80,4545
5	0,204465	11,7779	0,0125	0,2964	81,1718	80,467
6	0,189577	0,0246	0,1838	5,0931	81,1964	80,6507
7	0,123557	0,003	5,124	2,486	81,1994	85,7747
8	0,115156	5,1076	0,004	0,1705	86,307	85,7788
9	0,081898	0,0054	2,8268	3,3585	86,3124	88,6055
10	0,073329	2,866	0,005	0,1064	89,1784	88,6105
11	0,044322	0,0019	3,448	1,1941	89,1804	92,0585
12	0,038726	3,0822	0,000955	0,1034	92,2626	92,0594

Ada 2 macam metode penjumlahan ragam, yaitu CQC untuk struktur dengan waktu getar alami berdekatan (selisih < 15%) dan SRSS untuk struktur dengan waktu getar alami yang berjauhan. Selisih Periode 1 ke Periode 2 adalah 8,84% dan selisih periode 2 ke Periode 3 adalah 6,754%. Maka dari hasil selisih waktu getar kurang dari 15% maka dipakai ragam kombinasi CQC.

Mode 1 sebagai arah terlemah struktur dengan periode sebesar 0,697236 detik, nilai partisipasi massa translasi sebesar 67,9211% arah Y. *Mode 2* memiliki periode getar sebesar 0,635598 detik dengan nilai partisipasi massa sebesar 69,2413% arah X. Sedangkan *mode 3* memiliki periode getar sebesar 0,59267 detik dengan nilai partisipasi massa sebesar 18,0051%, faktor rotasi lebih besar dari pada translasi arah X dan Y.

Displacement Maksimum

Hasil *displacement* maksimum akibat dari beban kombinasi analisis respon

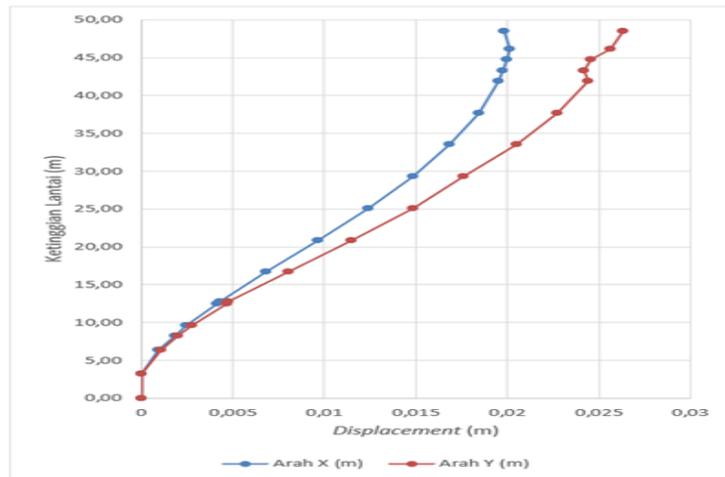
spektrum arah X adalah 0,02013 m pada elevasi 46,1 m dan arah Y sebesar 0,0263 pada elevasi 48,5 m. Hasil selengkapnya *displacement* tiap elevasi dapat dilihat pada Gambar 6.

Simpangan Antar Lantai (Drift)

Berdasarkan SNI 1726:2012, batas nilai simpangan antar lantai yang diijinkan akibat pengaruh beban gempa rencana adalah $0,015 \cdot h_{sx} / \rho$, dimana h_{sx} adalah tinggi lantai dan ρ adalah faktor reduksi sebesar 1,3. Hasil analisis simpangan antar lantai dapat dilihat pada Gambar 7, hasilnya menunjukkan simpangan antar lantai pada arah X maupun Y telah memenuhi batas yang disyaratkan.

Level Kinerja Struktur

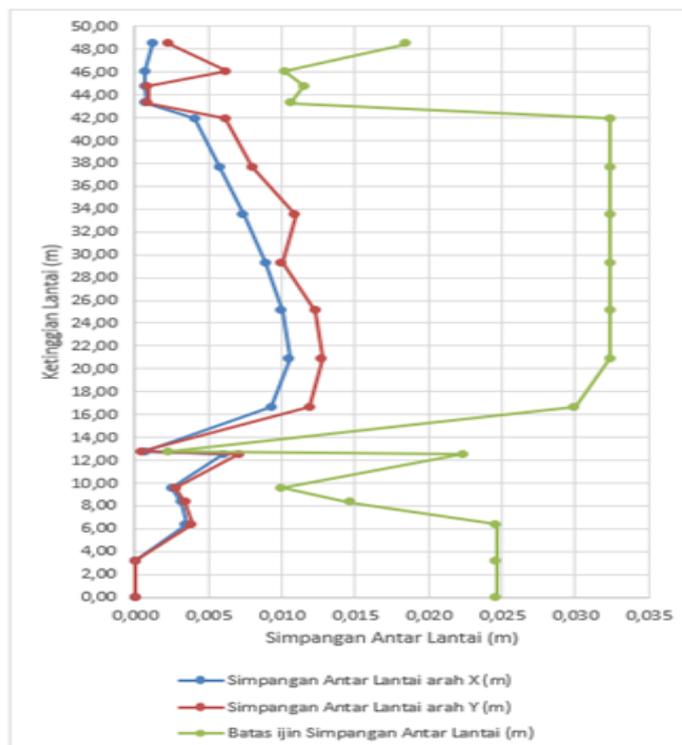
Hasil perhitungan level kinerja gedung menurut ATC-40 untuk arah X dan Y pada lantai teratas Menara USM dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 7, hal ini menunjukkan bahwa level kinerja Menara USM adalah *Immediate Occupancy*.



Gambar 6. Displacement Menara USM

Tabel 4. Level Kinerja Struktur Gedung Menara USM

Beban Gempa	Maksimum total Drift	Maksimum Total In-Elastic Drift	Kinerja
Arah x	0,000408	0,000408	Immediate Occupancy
Arah Y	0,000542	0,000542	Immediate Occupancy



Gambar 7. Simpanan antar lantai arah X dan Y dan batas ijin simpanan antar lantai Menara USM

SIMPULAN

Dari hasil analisis dinamik Gedung Menara USM menggunakan metode respon struktur maka dapat disimpulkan bahwa gaya geser dasar $V_{\text{dinamik}} < 85\% V_{\text{statik}}$ maka perlu koreksi skala gaya sebesar 1,2333 untuk arah X dan 1,2594 untuk arah Y. Periode Menara USM sebesar 0,697236 detik telah memenuhi syarat kurang dari periode getar maksimum yaitu sebesar 2,1463 detik. Mode 1 sebagai arah terlemah struktur dengan periode sebesar 0,697236 detik, nilai partisipasi massa translasi sebesar 67,9211% arah Y. Mode 2 memiliki periode getar sebesar 0,635598 detik dengan nilai partisipasi massa sebesar 69,2413% arah X. Sedangkan mode 3 memiliki periode getar sebesar 0,59267 detik dengan nilai partisipasi massa sebesar 18,0051%, faktor rotasi lebih besar dari pada translasi arah X dan Y. *Displacement* maksimum dan simpangan antar lantai juga telah memenuhi syarat, dan level kinerja Menara USM adalah *Immediate Occupancy* menurut peraturan ATC-40.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapkan terima kasih kepada Universitas Semarang yang telah memberikan data proyek pembangunan Menara USM sehingga dapat memperlancar pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Afrida, I., Wahyuningtyas, W.T., & Krisnamurti, 2020, Analisis

- Ketahanan Gedung Apartemen Surabaya dengan Menggunakan Metode Respon Spektrum. *Jurnal Berkala Sainstek*, 8(4), 132-139.
- Applied Technology Council, 1996, *ATC-40 Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. California: SEISMIC SAFETY COMMISSION State of California.
- Badan Standardisasi Nasional, 2012, *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1726:2012*.
- Badan Standardisasi Nasional, 2013, *Beban Minimum untuk Perencanaan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1727:2013*. BSN.
- Harahap, M.F., & Fauzan, M., 2019, Perilaku Dinamik pada Struktur Apartemen Metro Galaxy Park terhadap Beban Gempa. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4(3), 195-205.
- Nur, A.M., 2010, Gempa Bumi, Tsunami dan Mitigasinya. *Jurnal Geografi*, 7(1), 66-73.
- Pusat Studi Gempa Nasional, 2017, *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, BPP Kemen PUPR.
- http://puskim.pu.go.id/Aplikasi/desain_spektra_indonesia_2011/