

## Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa pada Variasi Resiko Gempa Sulawesi Tengah

**Arzal M. Zain**

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palu  
Jl. Hangtuah No. 29 Telp 0451-426504 Palu 94118, e-mail arzalmzain.ump@gmail.com

**Andi Rizal**

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palu  
Jl. Hangtuah No. 29 Telp 0451-426504 Palu 94118, e-mail andirizal2690@gmail.com

**Dewi Ayu Setiawati**

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Palu  
Jl. Hangtuah No. 29 Telp 0451-426504 Palu 94118, e-mail teknik\_dasetiawati@gmail.com

### ABSTRAK

Sulawesi Tengah terdiri dari 12 kabupaten dan 1 kota dengan luas wilayah 61.841,29 km<sup>2</sup>. Ibu kota 13 kabupaten kota ini tersebar di seluruh Sulawesi Tengah dengan berbagai variasi resiko gempa sesuai dengan SNI 1726:2012. Variasi resiko gempa ini memberikan perbedaan yang akan memberikan pengaruh pada kebutuhan dimensi. Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan desain struktur beton bertulang sesuai SNI 2847:2013 akibat variasi tingkat resiko gempa di Sulawesi Tengah sesuai SNI 1726:2012. Model yang akan digunakan adalah bangunan komersial berlantai 5 dengan 1 bentangan arah x dan y berjarak 5 m dan tinggi lantai seragam sebesar 4 m dan akan dimodelkan 3 dimensi. Material digunakan adalah beton bertulang dengan mutu beton  $f'_c$  20 MPa dan tulangan  $f_y$  400 MPa. Pengaruh pada volume beton pada balok pengaruhnya tidak ada, baik yang berlokasi di Palu atau Banggai memerlukan volume beton 8 m<sup>3</sup>. Pada kolom volume beton naik meskipun tidak cukup besar, pada daerah Banggai hanya diperlukan volume 7.2 m<sup>3</sup> akan tetapi pada wilayah Palu kebutuhannya naik sampai 8.32 m<sup>3</sup>. Pengaruh paling besar ada pada kebutuhan tulangan, pada daerah Banggai balok memerlukan volume tulangan 323 kg sedangkan di Palu memerlukan 515.5 kg. Kolom untuk Banggai memerlukan 583.8 kg sedangkan Palu memerlukan 1516.1 kg.

**Kata Kunci :** Variasi Risiko Gempa, Gedung Tahan Gempa

## 1. Latar Belakang

### 1.1. Pengantar

Sulawesi merupakan salah satu pulau di Indonesia dengan tingkat resiko gempa tinggi. Hal ini dikarenakan Sulawesi merupakan pertemuan tiga lempeng (**Gambar 1**), yaitu lempeng Indo-Australia, Eurasia, dan Filipina. Lempeng Indo-Australia bergerak dengan kecepatan sekitar 50-70 mm/tahun dan menunjing di bawah palung laut dalam Sumatra-Jawa sampai ke barat Pulau Timor di NTT dan lempeng Pasifik menabrak sisi utara Pulau Irian dan pulau-pulau di utara Maluku dengan kecepatan 120 mm/tahun (Bock dkk, 2003, dalam Pakpahan dkk, 2015). Tekanan akibat pergerakan lempeng-lempeng ini menyebabkan banyak sesar lokal aktif di wilayah Sulawesi. Dari aspek tenaga tektonik jelas bahwa bagian Indonesia Timur memiliki potensi ancaman gempa bumi dua kali lipat dibandingkan dengan Indonesia bagian barat (Natawidjaya dan Triyoso, 2007, dalam Pakpahan dkk, 2015).

Berhubung sampai saat ini belum ada teknologi yang dapat memprediksi baik waktu, tempat, dan intensitas gempa, diperlukan suatu zonasi rawan gempa

untuk standar acuan dasar di seluruh Indonesia bagi perencanaan bangunan tahan gempa sesuai dengan zonasi rawan gempa yang ada (Budiono dan Supriatna, 2011).



**Gambar 3. Peta Lempeng Dunia**

Salah satu cara untuk mengantisipasi terjadinya gempa agar tidak menimbulkan dampak besar adalah dengan menggunakan pendekatan struktural yaitu desain mengikuti kaidah-kaidah konstruksi yang benar dan memasukkan parameter kegempaan dalam mendirikan bangunan sesuai dengan standar yang ada (Budiono dan

Supriatna, 2011).

Dalam pendekatan struktural, desain bangunan tahan gempa di Indonesia saat ini menggunakan acuan beberapa Standar Nasional Indonesia, SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, dan SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung.

Sulawesi Tengah terdiri dari 12 wilayah kabupaten dan 1 wilayah kota dengan total luas wilayah 61.841,29 km<sup>2</sup> (BPS, 2018). Ibu kota 13 kabupaten kota ini tersebar di seluruh Sulawesi Tengah dengan berbagai variasi resiko gempa sesuai dengan SNI 1726:2012. Variasi resiko gempa ini tentunya memberikan perbedaan baik mayor ataupun minor pada hasil desain struktur di masing-masing kota. Perbedaan yang muncul tentunya akan memberikan pengaruh pada kebutuhan dimensi yang diperlukan.

Hubungan antara tingkat resiko gempa dan dimensi struktur yang diperlukan adalah isu utama yang akan dikaji lebih jauh pada penelitian ini.

Dalam penelitian akan digunakan alat bantu analisis menggunakan program *software* ETABS yang dikeluarkan *Computer and Structures Inc.* atau CSI yang merupakan perusahaan yang bergerak dibidang pengembangan *software-software* analisis rekayasa struktur dan gempa sejak tahun 1975.

## 1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

- Bagaimana pengaruh beban gempa pada struktur bangunan gedung?
- Apa perbedaan yang mungkin timbul akibat perbedaan resiko gempa di Sulawesi Tengah?
- Berapa kebutuhan dimensi struktur yang diperlukan akibat dari perbedaan resiko gempa pada letak geografis kota-kota di Sulawesi Tengah?

## 1.3. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah membandingkan hasil desain struktur beton bertulang sesuai dengan SNI 2847:2013 sebagai akibat variasi tingkat resiko gempa di Sulawesi Tengah sesuai dengan SNI 1726:2012.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Pembebanan

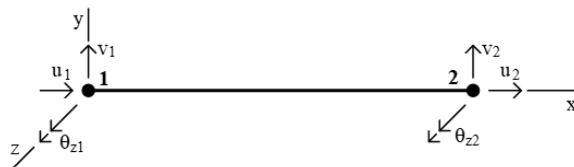
Pembebanan dan kombinasi pembebanan pada gedung sebagaimana diatur pada SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain akan terdiri dari beban mati, beban hidup, dan beban gempa.

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, *cladding* gedung dan komponen arsitektural dan struktur lainnya serta peralatan layan terpasang lain

termasuk berat keran. Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati. Beban gempa adalah beban yang bekerja pada suatu struktur akibat dari pergerakan tanah yang disebabkan karena adanya gempa bumi (baik itu gempa tektonik atau vulkanik) yang mempengaruhi struktur tersebut. Gempa mengakibatkan beban pada struktur karena interaksi tanah dengan struktur dan karakteristik respon struktur.

### 2.2. Analisa Struktur

Sistem struktur dianalisa sebagai portal 2 dimensi atau portal bidang dengan menggunakan Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*). Dalam portal ruang formulasi matriks  $[k]$  meliputi keseluruhan derajat kebebasan (*degree of freedom*, d.o.f) titik-titik nodal ujung elemen garis (**Gambar 2**).



**Gambar 2. Derajat Kebebasan pada Titik Nodal Portal 2 Dimensi**

Analisa dinamik beban gempa dilakukan dengan menggunakan respons spektra yang merupakan analisis secara statistik untuk menentukan respon suatu sistem struktur terhadap pembebanan seismik. Persamaan keseimbangan dinamik untuk menentukan respon struktur terhadap percepatan dasar adalah sebagaimana **Persamaan 1**.

$$Ku(t) + C\dot{u}(t) + M\ddot{u}(t) = m_x \ddot{u}_{gx}(t) + m_y \ddot{u}_{gy}(t) + m_z \ddot{u}_{gz}(t)$$

**Pers. 1**

Dimana  $K$  adalah matriks kekakuan,  $C$  adalah matriks *damping*, dan  $M$  adalah matriks massa. Secara berturut-turut  $u$ ,  $\dot{u}$ , dan  $\ddot{u}$  adalah perpindahan, kecepatan dan percepatan yang sesuai dengan percepatan dasar.  $m_x$ ,  $m_y$ , dan  $m_z$  adalah beban percepatan yang sesuai dengan sumbu masing-masing.  $\ddot{u}_{gx}$ ,  $\ddot{u}_{gy}$ , dan  $\ddot{u}_{gz}$  adalah komponen-komponen dari percepatan dasar.

### 2.3. Perencanaan Bangunan Tahan Gempa

Dalam perencanaan struktur bangunan tahan gempa, diperlukan peraturan perencanaan bangunan untuk menjamin keselamatan penghuni terhadap gempa besar yang mungkin terjadi serta menghindari dan meminimalisir kerusakan struktur bangunan dan korban jiwa terhadap gempa bumi yang terjadi.

Oleh karena itu, struktur bangunan tahan gempa harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang cukup untuk mencegah terjadinya keruntuhan bangunan. Konsep dasar perencanaan bangunan tahan gempa

adalah :

- Saat terjadi gempa ringan, tidak ada kerusakan struktural dan non struktural.
- Saat terjadi gempa sedang, tidak ada kerusakan struktural dan dibolehkan ada kerusakan pada elemen non struktural.
- Saat terjadi gempa besar, diperbolehkan mengalami kerusakan struktural dan non struktural tetapi tidak boleh menyebabkan bangunan runtuh seketika.

Berdasarkan SNI 1726:2012 langkah-langkah perencanaan bangunan dalam menerima beban gempa telah memasukkan konsep dasar di atas. Prosedur analisis yang dihasilkan terkait erat dengan berbagai parameter struktur bangunan, yaitu :

- Parameter keutamaan bangunan.
- Parameter faktor keutamaan gempa.
- Kategori desain seismik berdasarkan parameter percepatan respons spektra  $MCE_R$  terpetakan pada periode 1 detik ( $S_1$ ) dan parameter percepatan respons spektra  $MCE_R$  terpetakan pada periode pendek ( $S_S$ ).

Oleh karena itu prosedur analisis struktur harus terdiri dari salah satu tipe struktur yang diizinkan sesuai dengan SNI 1726:2012, yaitu berdasarkan kategori desain seismik struktur, sistem struktur, properti dinamis, dan keteraturan.

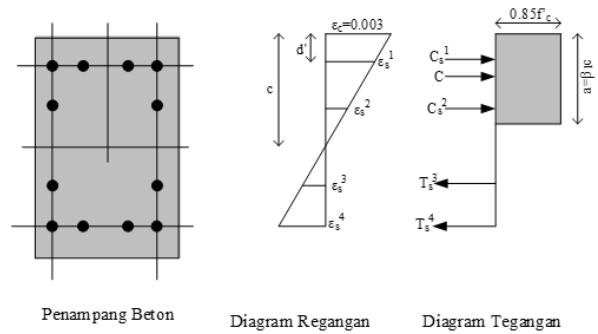
#### 2.4. Desain Kolom Beton Bertulang

Prosedur desain kolom beton bertulang dilakukan dengan tahapan dan persamaan-persamaan sebagaimana diatur pada SNI 2847:2013 :

- Menghitung kurva interaksi gaya aksial dan momen biaksial yang terjadi pada penampang. Dalam mendesain kebutuhan penulangan akan dihitung pada kisaran tulangan yang diizinkan yaitu 1 sampai 6 persen untuk Struktur Rangka Pemikul Momen Khusus atau SRPMK (SNI 2847 Psl. 21.6.3.1).
- Menghitung rasio kapasitas atau kebutuhan tulangan dari gaya aksial dan momen terfaktor yang terjadi sesuai dengan kondisi pembebanan.
- Menghitung tulangan geser kolom.

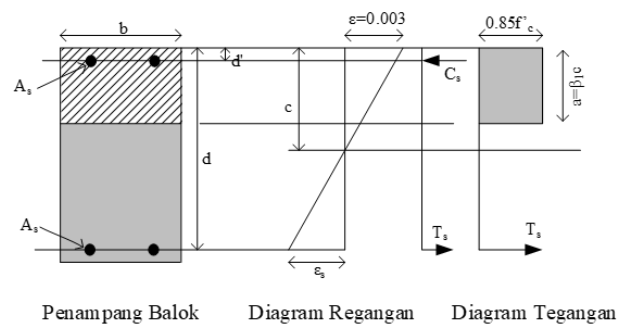
Kurva interaksi kolom dibentuk oleh titik-titik yang memperlihatkan batas-batas kegagalan penampang kolom sesuai dengan hubungan gaya aksial tekan dan biaksial lentur atau momen. Pada gambar di bawah diperlihatkan idealisasi distribusi regangan yang dilakukan pada penampang untuk menganalisis kurva interaksi dengan prinsip kuat ultimit (SNI 2847 Psl. 10.3) dengan batas regangan maksimum beton,  $\epsilon_c$ , adalah 0.003 (SNI 2847 Psl. 10.2.3) (**Gambar 3**).

Dalam desain penulangan geser untuk SRPMK kapasitas gaya geser diambil nilai minimum dari kapasitas gaya geser kolom berdasarkan kemungkinan kuat lentur maksimum dari dua ujung kolom dan kapasitas gaya geser kolom berdasarkan kemungkinan momen maksimum dari balok yang menumpu pada kolom tapi tidak kurang dari gaya geser terfaktor dari kombinasi pembebanan.



**Gambar 3. Diagram Tegangan Regangan pada Kolom**  
2.5. Desain Balok Beton Bertulang

Dalam perhitungan tulangan balok prosedur perhitungan dilakukan berdasarkan blok tegangan persegi sebagaimana diperlihatkan pada gambar di bawah (SNI 2847 Psl. 10.2). Diasumsikan bahwa regangan tarik baja tulangan tidak kurang dari 0.005 (terkendali tarik) (SNI 2847 Psl. 10.3.4). Diasumsikan bahwa gaya aksial ultimit tidak melebihi  $\phi(0.1f'_cA_g)$  (SNI 2847 Psl. 10.3.5). Dengan  $f'_c$  adalah mutu beton dan  $A_g$  adalah luas bruto penampang balok (**Gambar 4**).



**Gambar 4. Diagram Tegangan Regangan pada Balok**

Pada desain balok persegi untuk momen terfaktor baik negatif maupun positif,  $M_u$ , (desain tulangan atas atau bawah) dilakukan sebagaimana tahapan yang telah di atur pada SNI 2847:2013.

Dalam menghitung kebutuhan tulangan geser, kapasitas geser beton yang diizinkan adalah  $V_c = 0.17\lambda f'_c{}^{0.5} b_w d$  (SNI 2847 Psl. 11.2.1.1) dan batas gaya geser maksimum adalah  $V_{max} = V_c + 0.66f'_c{}^{0.5} b_w d$  (SNI 2847 Psl. 11.4.7.9). Dengan  $\lambda$  adalah faktor modifikasi,  $b_w$  adalah lebar badan balok, dan  $d$  adalah tinggi efektif.

### 3. Metode Pelaksanaan

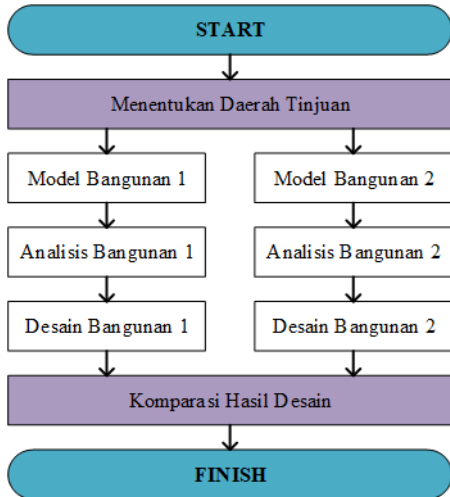
#### 3.1. Bagan Alir

Bagan alir penelitian sebagaimana diperlihatkan pada gambar di bawah ini (**Gambar 5**).

#### 3.2. Daerah Tinjauan

Untuk menentukan daerah tinjauan akan digunakan letak geografis ibukota-ibukota kabupaten di Sulawesi tengah kemudian disesuaikan dengan kategori desain seismik berdasarkan percepatan respons spektra  $S_1$

dan  $S_S$  pada lokasi ibukota tersebut. Untuk mendapatkan gambaran perbedaan akibat pengaruh resiko gempa maka akan digunakan daerah yang paling kecil resikonya dan yang paling tinggi resikonya. Berikut disajikan gambar percepatan respons spektra  $S_S$  dan  $S_I$  (Gambar 6 dan 7) serta tabel perbandingan resiko gempa kota-kota di Sulawesi Tengah (Tabel 1).



Gambar 5. Bagan Alir

Berdasarkan tingkat resiko gempa yang diperoleh dari peta percepatan respons spektra pada SNI 1726:2012 maka dipilih dua daerah yang akan dilakukan perbandingan, yaitu Kota Palu dengan resiko gempa tertinggi memiliki  $S_S$  2.0g dan  $S_I$  0.7g dan Kota Banggai dengan resiko gempa terendah memiliki  $S_S$  0.7g dan  $S_I$  0.3g.

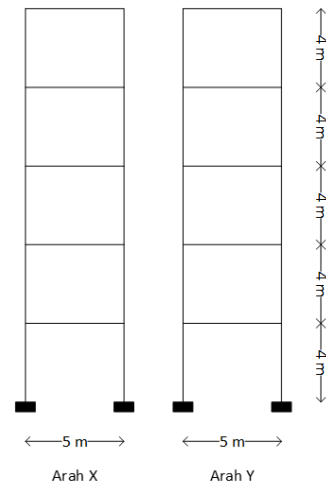
3.3. Model Struktur

Model yang akan digunakan adalah model bangunan komersial berlantai 5 dengan 1 bentangan arah x dan arah y berjarak 5 m dan tinggi tiap lantai seragam

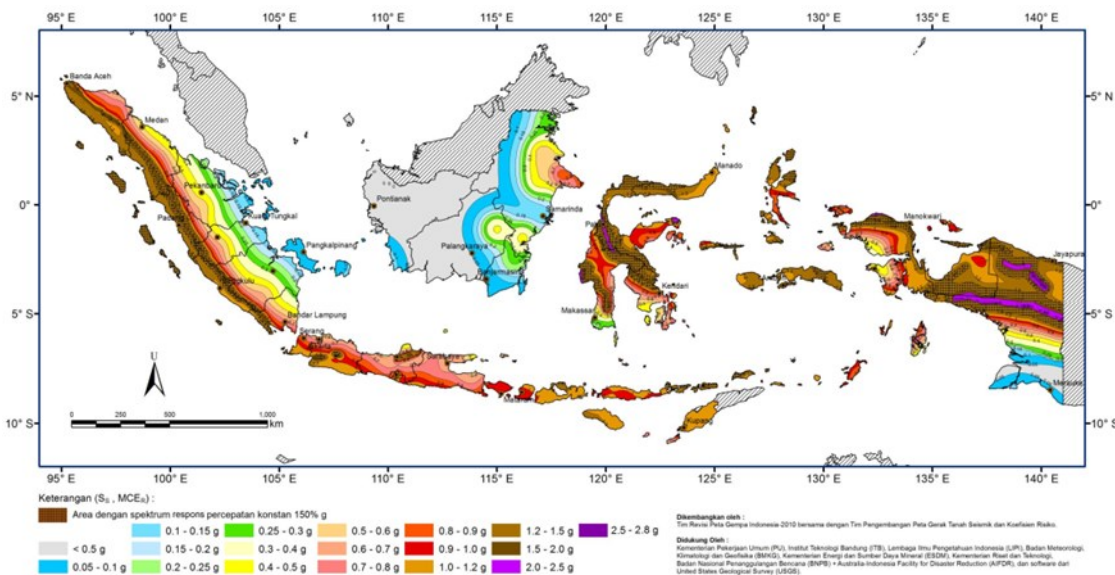
Tabel 1. Perbandingan Resiko Gempa pada Kota di Sulawesi Tengah

No	Kabupaten/Kota	Ibu Kota	$S_S$	$S_I$
1	Banggai Kepulauan	Salakan	0.8	0.3
2	Banggai	Luwuk	0.9	0.3
3	Morowali	Bungku	1.5	0.6
4	Poso	Poso Kota	1.2	0.4
5	Donggala	Banawa	1.5	0.6
6	Toli-Toli	Baolan	1.5	0.6
7	Buol	Lipunoto	1.5	0.6
8	Parigi Moutong	Parigi	1.5	0.6
9	Tojo Una-Una	Ampana	1.0	0.3
10	Sigi	Bora	2.0	0.7
11	Banggai Laut	Banggai	0.7	0.3
12	Morowali Utara	Kolonodale	1.2	0.4
13	Palu	Palu	2.0	0.7

sebesar 4 m dan akan dimodelkan secara 3 dimensi dengan menggunakan program ETABS. Material yang akan digunakan adalah beton bertulang dengan menggunakan mutu beton  $f'_c$  20 MPa dan tulangan ulir atau  $f_y$  400 MPa. Sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 8.

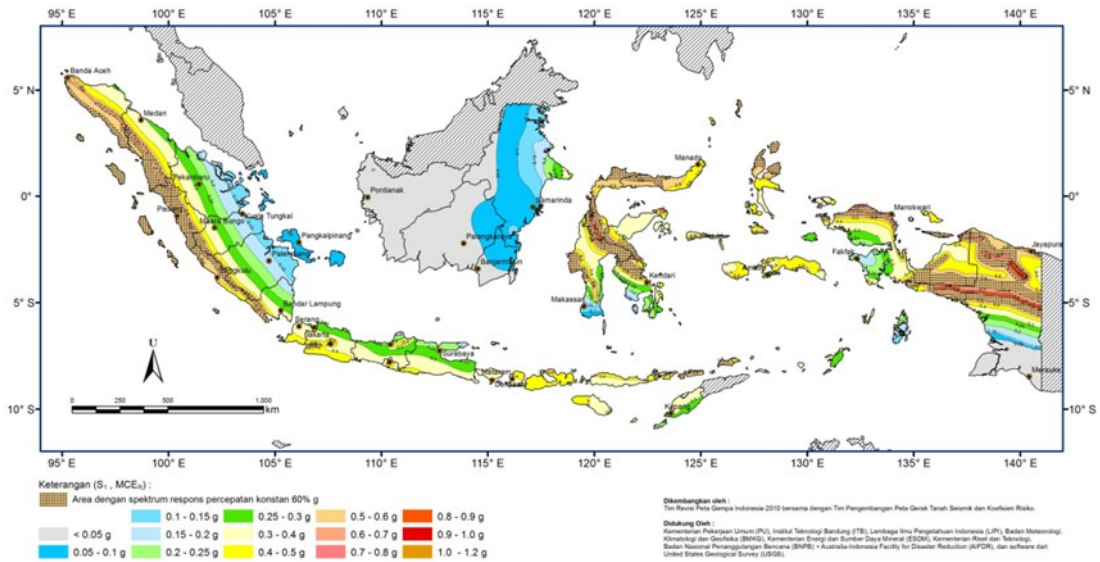


Gambar 8. Model Struktur



Gambar 6. Percepatan Response  $S_S$





Gambar 7. Percepatan Response  $S_1$

Untuk lantai 1 sampai dengan lantai 4 akan menerima beban mati tambahan beban terbagi rata sebesar  $120 \text{ kg/m}^2$  dan beban hidup untuk bangunan komersil sesuai dengan SNI 1727:2013 adalah  $250 \text{ kg/m}^2$ . Untuk lantai atap atau lantai 5 digunakan beban mati sebesar  $100 \text{ kg/m}^2$  untuk beban mati dan beban hidup lantai atap sesuai dengan SNI 1727:2013 adalah  $100 \text{ kg/m}^2$ .

Parameter gempa disesuaikan dengan SNI 1726:2012 memberikan gedung yang direncanakan kategori resiko I dan faktor keutamaan gempa,  $I_e$ , sebesar 1,0. Sistem Struktur yang digunakan sebagaimana telah disebutkan pada tinjauan pustaka adalah SRPMK maka koefisien modifikasi respons,  $R$ , bernilai 8, faktor kuat lebih sistem,  $\Omega_0$ , bernilai 3 dan faktor pembesaran defleksi,  $C_d$ , sebesar 5,5. Selain itu lokasi gedung dianggap terletak pada kondisi tanah sedang.

#### 4. Hasil Penelitian

##### 4.1. Pemodelan dan Analisis

Pemodelan dilakukan dengan menggunakan software ETABS sesuai dengan parameter pembebanan yang telah diuraikan sebelumnya. Analisis beban gempa dilakukan dengan menggunakan *response spectra* sesuai dengan parameter-parameter kegempaan pada wilayah masing-masing sesuai dengan SNI 1726:2012. Hasil analisis memberikan penampang dan kebutuhan tulangan yang berbeda pada gedung di masing-masing wilayah (Gambar 9).

Untuk standar kegempaan dilakukan kontrol terhadap pemenuhan gaya geser dasar sesuai dengan SNI 1726:2012 harus memenuhi syarat  $0.85 V/V_s \leq 1$ , dimana  $V$  adalah gaya geser dasar dari analisis statik dan  $V_s$  adalah gaya geser dasar dari analisis dinamik. Hasil perhitungan gaya geser dasar bisa di lihat pada Tabel 2.



Gambar 9. Hasil Kebutuhan Penampang

Gedung Lokasi Palu,  $0.85(106/97) = 0.93 \rightarrow \text{OK}$

Gedung Lokasi Banggai,  $0.85(42/36) = 0.99 \rightarrow \text{OK}$

Hasil analisis tersebut memberikan perbedaan volume bangunan gedung yang cukup besar sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 3.

Dari tabel tersebut bisa dilihat bahwa pengaruh gempa memang memberikan dampak yang cukup signifikan pada kebutuhan struktur bangunan.

##### 4.2. Kesimpulan

- a) Pengaruh gempa pada lokasi-lokasi kota di Sulawesi Tengah memang cukup memberikan dampak yang besar pada kebutuhan struktur bangunan, terutama pada bangunan-bangunan tinggi yang memang besar pengaruh gempanya.

Tabel 2. Perbandingan Gaya Geser Dasar

Gaya Geser Dasar Gedung Lokasi Palu		
Load Case/Combo	FX	FY
	kN	kN
Seismic 1	-105.1368	0
Seismic 2	0	-105.1368
Seismic 3	-105.1368	0
Seismic 4	0	-105.1368
Seismic 5	-105.1368	0
Seismic 6	0	-105.1368
Resp, Spectrum Max	97.4339	97.4339

Gaya Geser Dasar Gedung Lokasi Banggai		
Load Case/Combo	FX	FY
	kN	kN
Seismic 1	-41.4759	0
Seismic 2	0	-41.4759
Seismic 3	-41.4759	0
Seismic 4	0	-41.4759
Seismic 5	-41.4759	0
Seismic 6	0	-41.4759
Resp, Spectrum Max	36.9011	36.9011

Tabel 3. Kebutuhan Struktur Bangunan

Lokasi	Volume			
	Balok		Kolom	
	Beton (m3)	Tulangan (kg)	Beton (m3)	Tulangan (kg)
Palu	8	515.5	8.32	1516.1
Banggai	8	323	7.2	583.8

- b) Untuk pengaruh pada volume beton pada elemen balok pengaruhnya hampir tidak ada, baik yang berlokasi di Palu atau Banggai hanya memerlukan volume beton 8 m<sup>3</sup>. Pada elemen kolom kebutuhan volume beton naik meskipun tidak cukup besar, pada daerah Banggai hanya diperlukan volume 7.2 m<sup>3</sup> akan tetapi pada wilayah Palu kebutuhannya naik sampai dengan 8.32 m<sup>3</sup>.
- c) Pengaruh paling besar ada pada kebutuhan tulangan, pada daerah Banggai elemen balok memerlukan volume tulangan 323 kg sedangkan pada daerah Palu memerlukan 515.5 kg. Elemen kolom untuk daerah Banggai memerlukan 583.8 kg sedangkan pada daerah Palu memerlukan 1516.1 kg.
- d) Pengaruh gempa pada kota-kota di Sulawesi Tengah sangat berpengaruh pada kebutuhan struktur terutama pada elemen kolom baik kebutuhan beton maupun kebutuhan tulangan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Budiono, B., Supriatna, L., 2011, Studi Komparasi Desain Bangunan Tahan Gempa dengan Menggunakan SNI 03-1726-2002 dan RSNI 03-1726-201x, Penerbit ITB, Bandung.
- Pakpahan, S., Ngadmanto, D., Masturyono, Rohadi, S., Rasmid, Widodo, H.S., Susilanto, P., 2015, Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi Vol. 6 No. 3 Hal. 253-264.