

Analisis Resiko Gempa Bumi Pada Bangunan Gedung (Studi Kasus: Pembangunan Mall Maleo Town Square Kabupaten Majene Provinsi Sulawesi Barat)

Muh Najib¹, Nurmiati Zamad², Asri Mulya Setiawan³

Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Jl.Prof.Dr.H.Baharuddin Lopa, Talumung, Majene 91412 Indonesia

Email : jiebscrm@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini berjudul Analisis Resiko Gempa Bumi Pada Bangunan Gedung. Masalah yang dihadapi karena gempa bersifat tidak pasti maka di gunakan data-data historis. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah bangunan gedung tersebut tahan terhadap gempa bumi dan untuk memperkirakan probabilitas resiko kerusakan akibat gempa pada bangunan gedung di salah satu pusat perbelanjaan di Kota Mamuju. Penelitian ini menggunakan metode *expert judgement* untuk memperkirakan probabilitas resiko yang ditimbulkan oleh gempa pada bangunan gedung. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa faktor resiko yang ditimbulkan oleh gempa dapat di efisiensi.

Kata kunci : Bangunan Gedung; Gempa Bumi; Kerusakan; Resiko;

PENDAHULUAN

Benua maritim Indonesia terletak pada pertemuan dari beberapa lempeng benua dan samudera, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia dan Pasifik. Dinamika pertemuan lempeng-lempeng ini menghasilkan spektrum topografi yang bervariasi, serta aktivitas kegempaan dan vulkanisme yang aktif (Hamilton, 1979) [10]. Karena geodinamikanya yang relatif aktif, wilayah Indonesia rentan terhadap beberapa bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, letusan gunung api, pergerakan tanah (*landslides*), dan penurunan tanah (*land subsidence*).

Dari gambar 1.1, dapat diketahui bahwa ternyata Indonesia berada dalam zona patahan dan zona subduksi dari ketiga lempeng tersebut. Zona subduksi ini terjadi ketika lempeng samudera bertabrakan dengan lempeng benua sehingga menimbulkan potensi gempa. Ada tiga zona subduksi yang letaknya mengelilingi pulau-pulau di Indonesia, subduksi pertama adalah tumbukan antara lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia yang terjadi di lepas pantai barat Pulau Sumatera, lepas pantai selatan Pulau Jawa, lepas pantai Selatan kepulauan Nusatenggara, dan berbelok ke arah utara perairan Maluku sebelah selatan. Sedangkan subduksi kedua adalah tumbukan antara lempeng Indo-Australia dan Pasifik yang terjadi di sekitar Pulau Papua serta subduksi ketiga yang merupakan tumbukan antara ketiga lempeng tersebut yang terjadi di sekitar Sulawesi.

Dari aspek tenaga tektonik jelas bahwa bagian Indonesia Timur mempunyai potensi ancaman bencana gempa bumi dua kali lipat dibandingkan dengan yang di bagian barat.

Berikut ini adalah 25 daerah wilayah rawan gempa di Indonesia yaitu : Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat – Jambi, Bengkulu, Lampung, Banten Pandeglang, Jawa Barat, Bantar Kawung, Yogyakarta, Lasem, Jawa Timur, Bali, NTB, NTT, Kepulauan Aru, Sulawesi Selatan, Sulawesi Barat, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Utara, Sangir Talaud, Maluku Utara, Maluku Selatan, Papua Utara, Jayapura, Nabire, Wamena dan Kalimantan Timur.

Lokasi aktif gempa secara sepiintas sudah dapat dipastikan berada di perbatasan lempeng tektonik. Namun efeknya bisa dirasakan pada jarak tertentu bergantung pada atenuasi (peluruhan energi) dan geologi setempat. Kondisi lingkungan alam ini membuat Indonesia sering dilanda bencana gempa bumi yang makin hari makin meningkat kuantitasnya karena perkembangan penduduk, perkotaan dan umur bangunan.

Kabupaten Mamuju terletak di sebelah barat Pulau Sulawesi, berdasarkan UU RI no.26 Tahun 2004 tanggal 5 Oktober 2004 maka Kabupaten Mamuju bersama 4 Kabupaten lainnya yaitu; Polmas, Majene, Mamasa dan Mamuju Utara. Resmi menjadi sebuah Propinsi Sulawesi Barat dan ibukota Propinsi terletak di Kabupaten Mamuju.

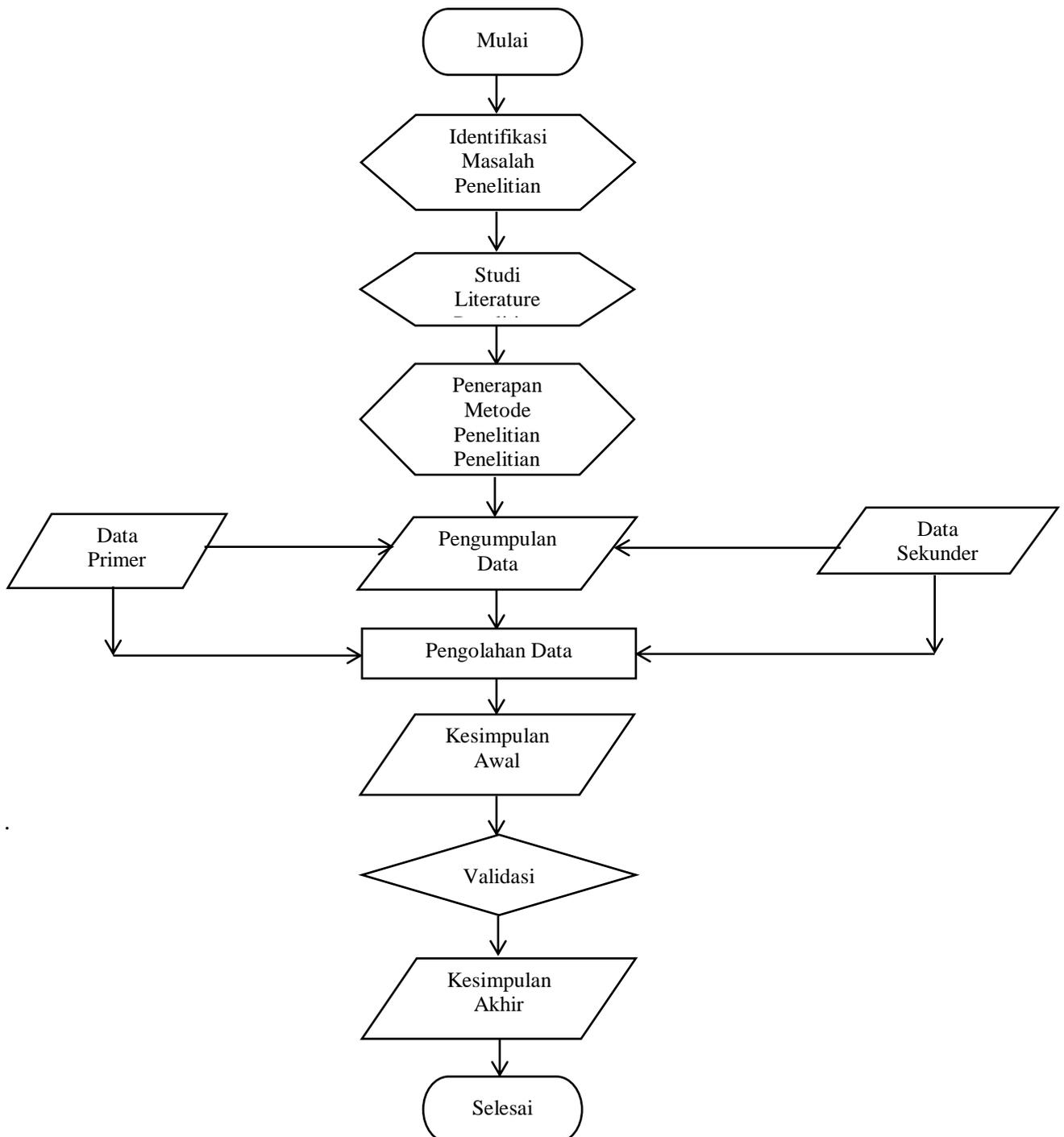
Kabupaten Mamuju merupakan daerah yang terluas di Prop.Sulawesi Barat. Secara geografis Kabupaten Mamuju terletak di posisi : 00 45' sampai 20 55' Lintang Selatan dan 45' sampai 1190 50' Bujur Timur/ 2°40'7"LU 118°51'44"BT.

Kabupaten Mamuju dilihat dari Geografisnya, mempunyai wilayah yang potensial meliputi kelautan, daratan dan wilayah pegunungan, sehingga dalam administrasi Pemerintah terdapat dua kecamatan di

pegunungan, yaitu Kalumpang dan Bonehau dan Kecamatan Simboro Kepulauan mempunyai wilayah Desa Bala – Balakang yang terletak di selat Makassar, dan 13 Kecamatan di wilayah pesisir pantai. Pembangunan gedung di Indonesia semakin meningkat tak terkecuali di Sulawesi Barat. Akan tetapi pembangunan di Sulawesi Barat tak searah dengan kualitas bangunan tersebut. Hal ini yang membuat penulis berinisiatif mengambil judul “Analisis Resiko Gempa Bumi pada Bangunan Gedung. Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Mamuju Jln. Yos Sudarso yang merupakan pusat kota di Kota Mamuju, ada beberapa pertimbangan mengapa di Jln. Yos Sudarso ini dijadikan sebagai lokasi penelitian di karenakan dekat dengan laut dan juga adanya penimbunan laut. Pembangunan Mall Maleo Town Square dipilih sebagai objek penelitiannya dimana PT. Kamantra Bangun Persada bertindak sebagai Perencana, Pelaksana dan Pengawasan.

METODE

Tahapan penelitian yang akan dilakukan dapat digambarkan dalam diagram alur sebagai berikut;



HASIL

A. Gambaran Umum Mall Maleo Town Square

Proyek pembangunan gedung Mall Maleo Town Square berlokasi di Jl. Yos Sudarso No.37 Kabupaten Mamuju Provinsi Sulawesi Barat dengan luas bangunan $\pm 9.216 \text{ m}^2$.

Berikut ini data stuktur bangunan gedung tersebut :

1. Gedung Mall Maleo Town Square bertingkat empat lantai.
2. Tiang pancang yang digunakan yaitu tiang pancang mini jenis persegi dengan kedalaman tiap titiknya 30 m.
 - a. Dimensi tiang pancang :
 1. P2 = 1/0,6 m.
 2. P4 = 1,2/1,2 m.
 3. P7 = 1,7/2 m.
 - b. Mutu beton untuk tiang pancang digunakan K500
3. Dimensi kolom dan balok terdiri dari:
 - a. Dimensi kolom struktur (lantai 1,2,3 dan 4)
 1. K1 = 60/60 cm.
 2. K2 = 60/60 cm.
 3. K3 = 70/70 cm.
 4. K4 = 40/100 cm.
 5. K5 = 30/30 cm.
 - b. Dimensi balok *sloof* 40/60 cm.
 - c. Dimensi balok (lantai 1,2,3 dan 4)
 1. B1 = 30/70 cm.
 2. B2 = 25/50 cm.
 3. B3 = 30/70 cm.
 4. B4 = 25/50 cm.
4. Struktur beton direncanakan dengan daktilitas penuh atau daktilitas tinggi III.
5. Mutu beton untuk kolom dan balok yaitu mutu beton K300.
6. Mutu baja tulangan $f_y = 390 \text{ Mpa}$, tulangan begel $f_y = 240 \text{ Mpa}$.

Data tersebut sesuai dengan perencanaan bangunan gedung tahan gempa.

B. Kondisi Tanah

Data tanah Pembangunan Mall Maleo Town Square didapat dari PT. Kamantra Bangun Persada yang bertindak sebagai Pelaksana, Perencana dan Pengawasan proyek tersebut.

Berikut ini data pengujian *Cone Penetration Test* (CPT) yang diambil dari 2 titik pada lokasi tersebut:

- a. Titik Pertama kedalaman tanah kerasnya berada pada kedalaman kurang lebih 16 meter.
- b. Titik Kedua kedalaman tanah kerasnya berada pada kedalaman kurang lebih 24 meter

Dapat disimpulkan bahwa kedalaman tanah keras di Proyek Pembangunan Mall Maleo Town Square berada pada kedalaman kurang lebih 15 meter sampai 25 meter.

Sedangkan pengujian *boring/borelog* bertujuan untuk mengetahui jenis dan material yang terkandung dalam tanah tersebut. Hasil pengujian hand boring dapat dilihat pada table dibawah ini :

Tabel 1 Hasil *Hand Boring* Proyek Pembangunan Mall Maleo Town Square

| Kedalaman (Meter) | Jenis Tanah |
|-------------------|---|
| 0 – 5.5 | Silty Clay Dark Brown to Red, Medium Stiff, High Plasticity |
| 5.5 – 9.5 | Clayey Silt Yellowish Red, Medium Stiff, Medium Plasticity |
| 9.5 – 10.0 | Silty Sand Yellowish Black, Dense, Non Plasticity |
| 10.0 – 13.0 | Silty Sand Yellowish Black, Dense, Non |

| | |
|-------------|--|
| | Plasticity |
| 13.0 – 15.0 | Gravelly sand Yellowish Black, Very Dense, Non Plasticity |
| 15.0 – 18.0 | SiltStone Yellowish Black, Very Dense, Non Plasticity |
| 18.0 – 20.0 | Cemented Sand Yellowish Black, Very Dense, Non Plasticity |
| 20.0 – 22.0 | Cemented Sand Yellowish Black, Very Dense, Non Plasticity |
| 22.0 – 25.0 | Boulder Black, Very Dense, Non Plasticity |
| 25.0 – 27.5 | Gravelly Sand Black, Very Dense, Non Plasticity |
| >27.5 | Boulder Black, Very Dense, Non Plasticity |

C. Gambaran Gempa, Probabilitas, Dan Percepatan Tanah Selama 10 Tahun Terakhir

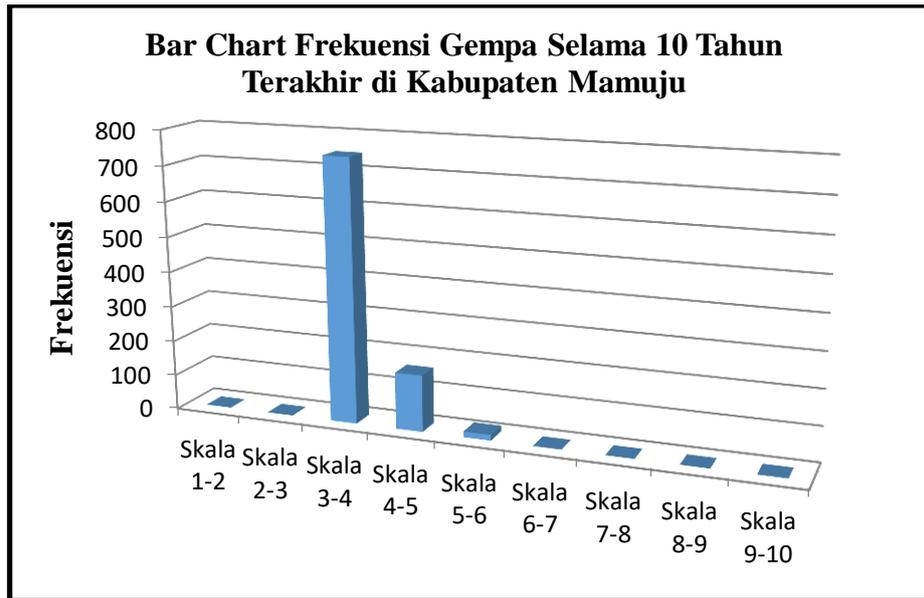
1. Gambaran Gempa di Kabupaten Mamuju Selama 10 Tahun Terakhir

Berdasarkan hasil survey di BMKG Stasiun Majene, Sulawesi Barat, terdapat 931 gempa yang pernah terjadi di Kabupaten Mamuju baik gempa yang berskala kecil, menengah maupun yang berskala besar. Data gempa ini diambil dari tahun 2008 sampai tahun 2017.

Berikut adalah data gempa yang terjadi di Kabupaten Mamuju selama 10 tahun terakhir.

Tabel 2 Gempa yang pernah terjadi selama 10 tahun di Kabupaten Mamuju

| Skala (SR) | Jumlah |
|------------|--------|
| Skala 1-2 | 0 |
| Skala 2-3 | 0 |
| Skala 3-4 | 745 |
| Skala 4-5 | 169 |
| Skala 5-6 | 17 |
| Skala 6-7 | 0 |
| Skala 7-8 | 0 |
| Skala 8-9 | 0 |
| Skala 9-10 | 0 |
| Jumlah | 931 |

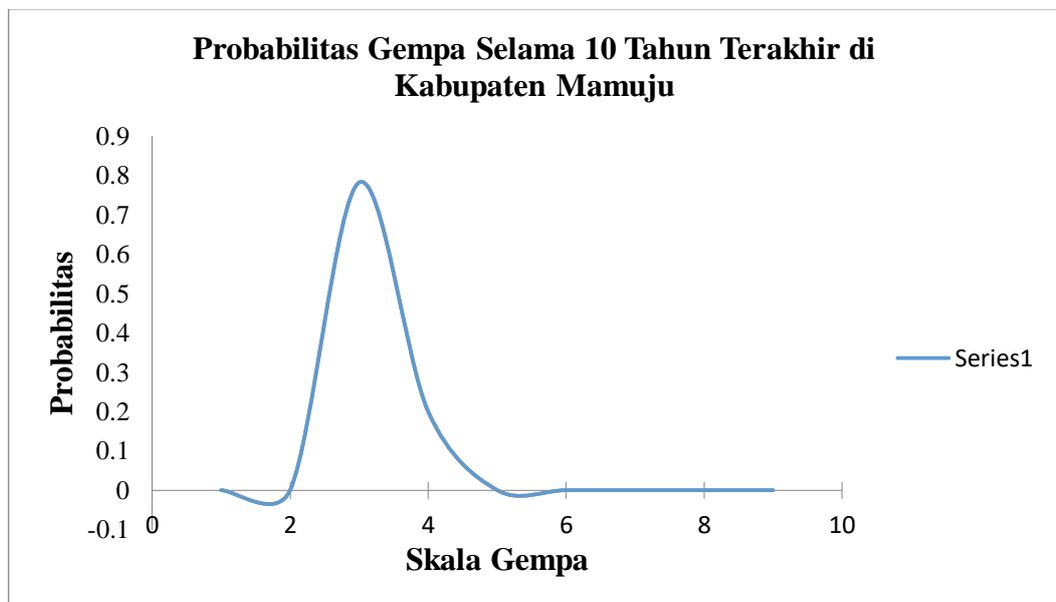


Gambar 1. Bar Chart Frekuensi Gempa Selama 10 Tahun Terakhir di Kabupaten Mamuju

Dari gambar 1, dapat diketahui bahwa skala 3-4 adalah skala yang paling sering terjadi di Kabupaten Mamuju, sedangkan gempa yang besar seperti skala 5-6 jarang terjadi di Kabupaten Mamuju. Diasumsikan bahwa gambar grafik tersebut bersifat distribusi normal karena tidak dilakukan pengecekan sebelumnya.

2. Probabilitas Gempa Selama 10 Tahun Terakhir di Kabupaten Mamuju

| | Skala 1-2 | Skala 2-3 | Skala 3-4 | Skala 4-5 | Skala 5-6 | Skala 6-7 | Skala 7-8 | Skala 8-9 | Skala 9-10 |
|--------------|-----------|-----------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Probabilitas | 0 | 0 | 0,78168789 | 0,200236 | 0,000409 | 0 | 0 | 0 | 0 |



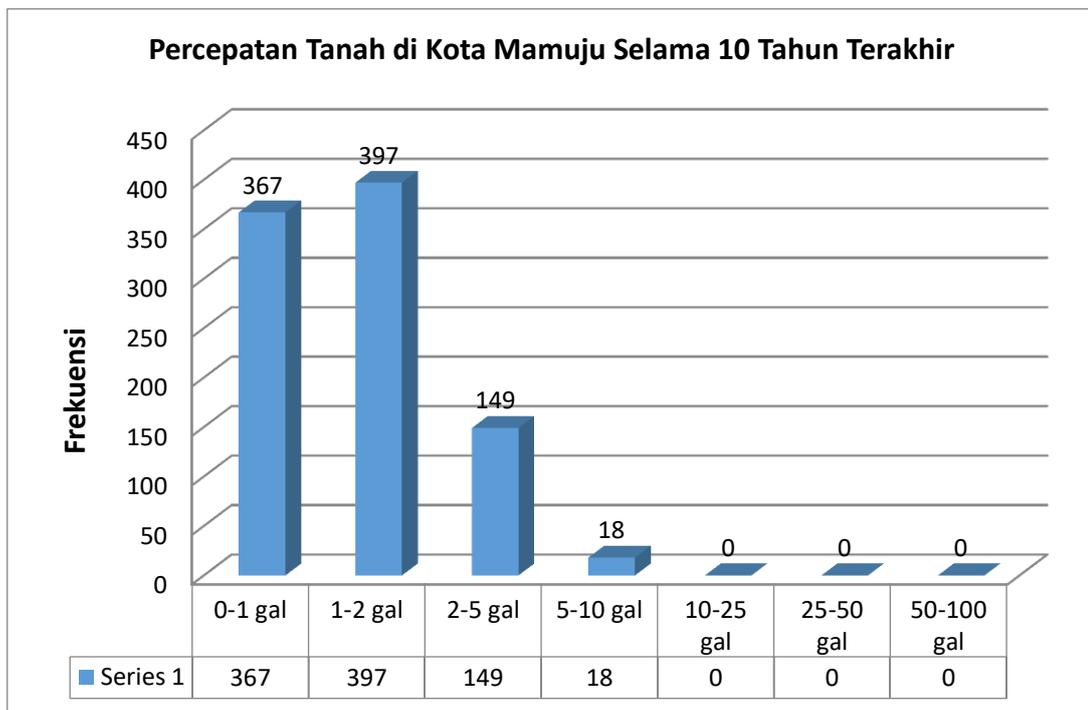
Gambar 2. Grafik *Probability Density Function* Skala Richter

Dari gambar grafik 2. dapat diketahui bahwa gempa yang sering terjadi di daerah Mamuju Provinsi Sulawesi Barat selama 10 tahun terakhir ini adalah gempa dengan Skala 3-4 SR dan Skala 4-5 SR dimana probabilitas dari Skala 3-4 SR sebesar 0,78 sedangkan untuk skala 4-5 SR sebesar 0,20. Pada grafik *probability density function* ini, luasan dibawah grafik harus sama dengan 1.

3. Percepatan Tanah Selama 10 Tahun Terakhir di Kota Mamuju

Tabel 3 Tabel Percepatan Tanah pada Skala 3-4 SR di Kota Mamuju Selama 10 Tahun Terakhir

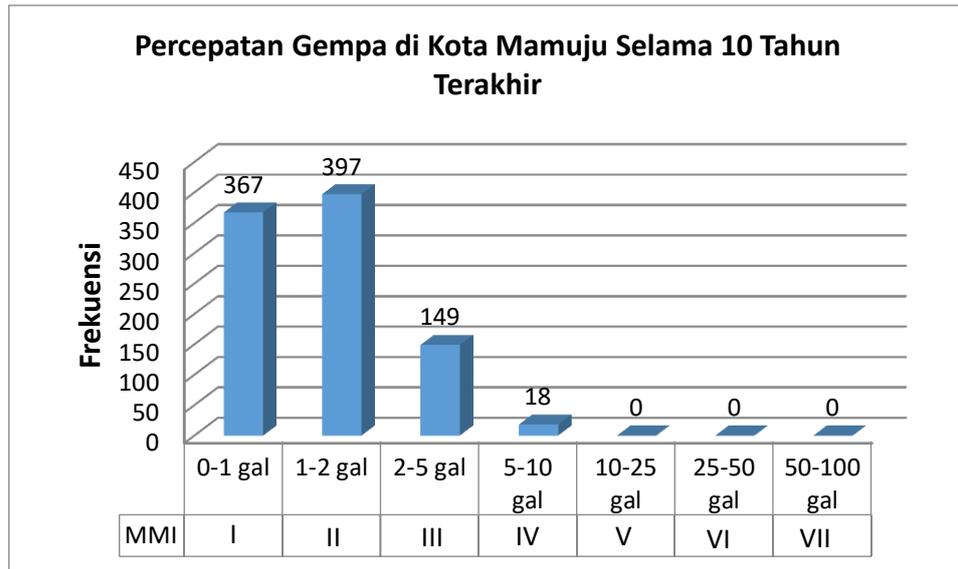
| Tgl-Bln-Thn | Lg | Bg | Depth | Mb | Ms | Lk | Bk | Episenter (Km) | Hiposenter (Km) | Percepatan (gal) |
|-------------|-------|--------|-------|-----|-------|-----|--------|----------------|-----------------|------------------|
| 30-Nov-2008 | -3.68 | 119.16 | 17 | 3.4 | 1.436 | 2.4 | 118.51 | 159.35 | 160.25 | 1.44 |
| 5-Dec-2008 | -1.42 | 120.46 | 26 | 3.1 | 0.959 | 2.4 | 118.51 | 242.25 | 243.64 | 0.59 |
| 7-Dec-2008 | -2.79 | 119.79 | 10 | 3.7 | 1.913 | 2.4 | 118.51 | 148.53 | 148.86 | 2.09 |
| 18-Dec-2008 | -2.82 | 119.86 | 10 | 3.1 | 0.959 | 2.4 | 118.51 | 156.93 | 157.25 | 0.98 |
| 18-Dec-2008 | -2.19 | 118.47 | 20 | 3.5 | 1.595 | 2.4 | 118.51 | 23.73 | 31.03 | 7.59 |
| 22-Dec-2008 | -1.52 | 120.54 | 98 | 3.9 | 2.231 | 2.4 | 118.51 | 245.59 | 264.42 | 1.25 |



Gambar 3. Grafik Percepatan Tanah di Kota Mamuju Selama 10 Tahun Terakhir

4. Perbandingan Skala MMI dengan Percepatan Tanah

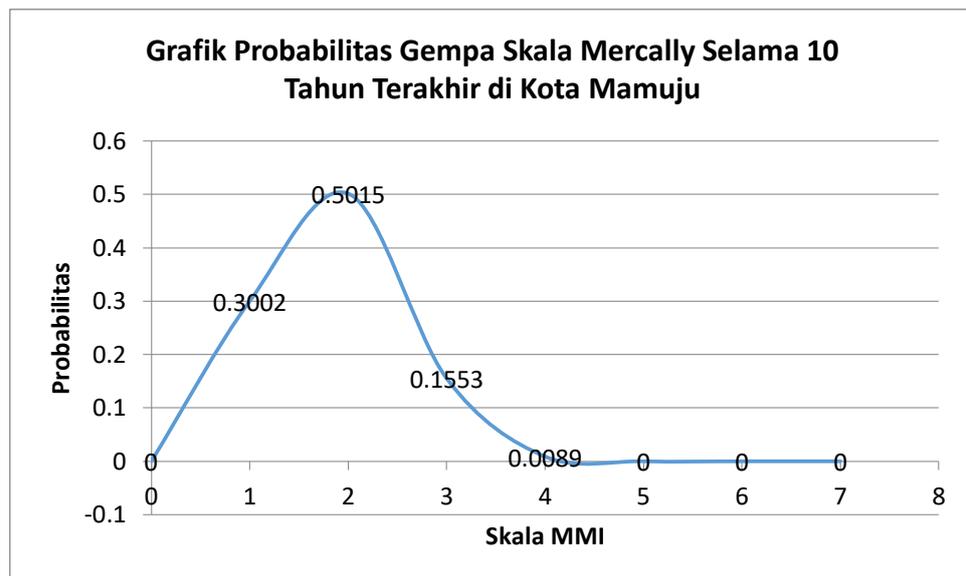
Untuk dapat membayangkan seberapa besar dampak akibat percepatan tanah tersebut dengan kerusakan terhadap bangunan rumah tinggal, maka dibuat perbandingan antara skala MMI (*Modified Mercally Intensity*) dengan percepatan tanah seperti dibawah ini (C.F. Richter, 1958):



Gambar 4 Grafik Frekuensi Gempa Berdasarkan Skala MMI di Kota Mamuju Selama 10 Tahun Terakhir

5. Probabilitas Gempa Skala MMI Selama 10 Tahun Terakhir di Kota Mamuju

| MMI | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|----------|----------|----------|---------|---|---|---|
| Probabilitas | 0,300183 | 0,501492 | 0,155318 | 0,00892 | 0 | 0 | 0 |



Gambar 5 Grafik *Probabiliti Density Function* Distribusi Normal Skala MMI Selama 10 Tahun Terakhir di Kota Mamuju

Dari grafik probabilitas diatas, diketahui bahwa probabilitas gempa yang paling sering terjadi pada MMI 1 dengan probabilitas 0,300183 dan MMI 2 dengan probabilitas 0,501492.

D. Probabilitas Risiko Kerusakan Bangunan Oleh *Experts*

Metode *experts judgement* adalah suatu metode yang menggunakan pendapat dari para pakar, dalam hal ini adalah 6 pakar struktur bangunan untuk memberikan pendapat tentang kemungkinan kerusakan bangunan gedung akibat gempa yang mungkin terjadi selama 10 tahun yang akan datang sesuai dengan data-data gempa, data struktur bangunan dan data tanah di Proyek Pembangunan Mall Maleo Town Square yang tersedia dengan mengisi kuisioner berupa grafik. Keenam pakar struktur ini berinisial AM,

DY yang merupakan Dosen Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Sulawesi Barat dan M, SA, TI, JI merupakan dosen dari kampus swasta di Makassar.

Tabel 5 Besaran Frekuensi Untuk Setiap Kategori

| <i>Qualitative</i> | <i>Frequency (%)</i> |
|---------------------|----------------------|
| Almost Certain | 98.69 |
| Very likely | 89.59 |
| Highly likely | 80.49 |
| Reasonably likely | 71.39 |
| Fairly likely | 62.29 |
| Even Chance | 53.19 |
| Fairly Unlikely | 44.09 |
| Reasonably Unlikely | 34.99 |
| Highly Unlikely | 25.89 |
| Very Unlikely | 16.79 |
| Almost Impossible | 7.69 |

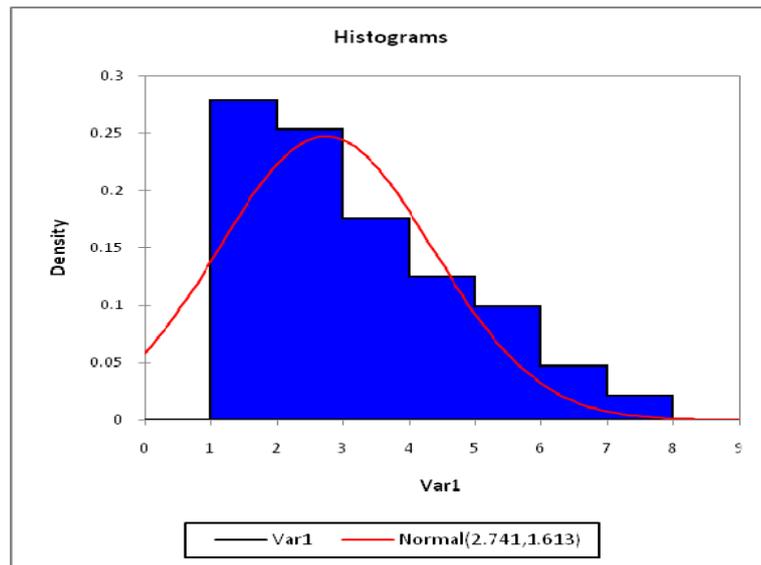
Dengan mengacu pada tabel 5 dibuatlah besaran frekuensi yang diperoleh dari grafik hasil perkiraan kerusakan oleh masing-masing *experts*.

Experts M

| <i>Predicted Damage</i> | <i>Qualitative</i> | <i>Frequency (%)</i> |
|-------------------------|---------------------|----------------------|
| None | Almost Certain | 98.69 |
| Slight | Very likely | 89.59 |
| Light | Fairly likely | 62.29 |
| Moderate | Fairly Unlikely | 44.09 |
| Heavy | Reasonably Unlikely | 34.99 |
| Major | Very Unlikely | 16.79 |
| Destroyed | Almost Impossible | 7.69 |

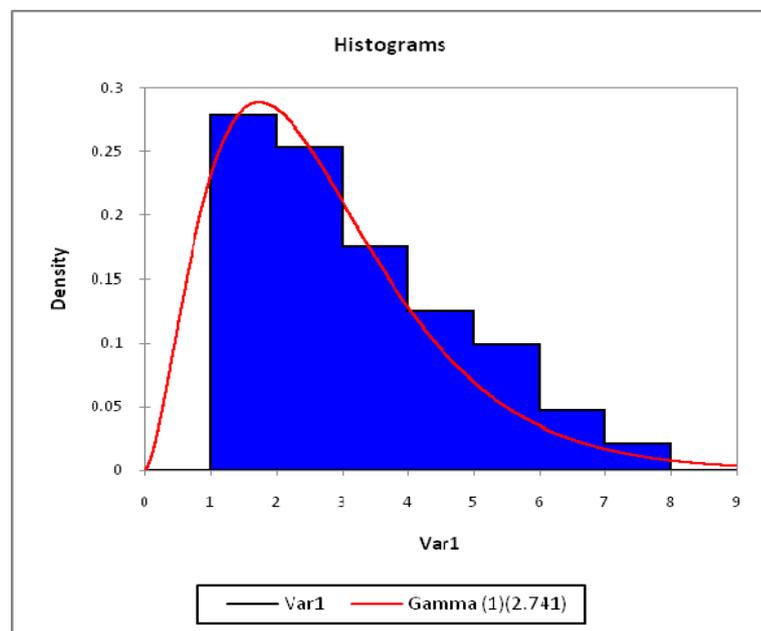
Dalam membuat kurva fungsi kerapatan probabilitas, ada berbagai macam kurva distribusi yang bisa dibuat contohnya distribusi normal, kurva beta, kurva exponential, gamma, erlang, weibull, log-normal dan sebagainya. Penetapan kurva yang diambil dari *software XLSTAT* adalah kurva tersebut harus mengikuti distribusi awal dan memiliki nilai *p-value* tinggi dimana *p-value* chi-square sebesar 0,5 yang artinya bahwa kurva tersebut sangat fit serta nilai %H0 yang tinggi dimana semakin tinggi %H0 berarti bahwa sampel tersebut mengikuti distribusi kurva yang dipilih.

Berikut adalah contoh *goodness-of-fit test* dengan menggunakan kurva distribusi normal, dan kurva gamma (1) untuk *expert M*.



Gambar 6. Grafik *Probability Density Function* Normal *Expert M*

Dari kurva distribusi normal pada gambar 4.21, dapat dilihat bahwa kurva tersebut tidak cocok untuk dijadikan sebagai kurva probabilitas karena bentuk kurva ini tidak menyerupai distribusi awalnya serta memiliki *p-value* dan nilai %H0 yang kecil yaitu < 0.0001 dan 0.01%.

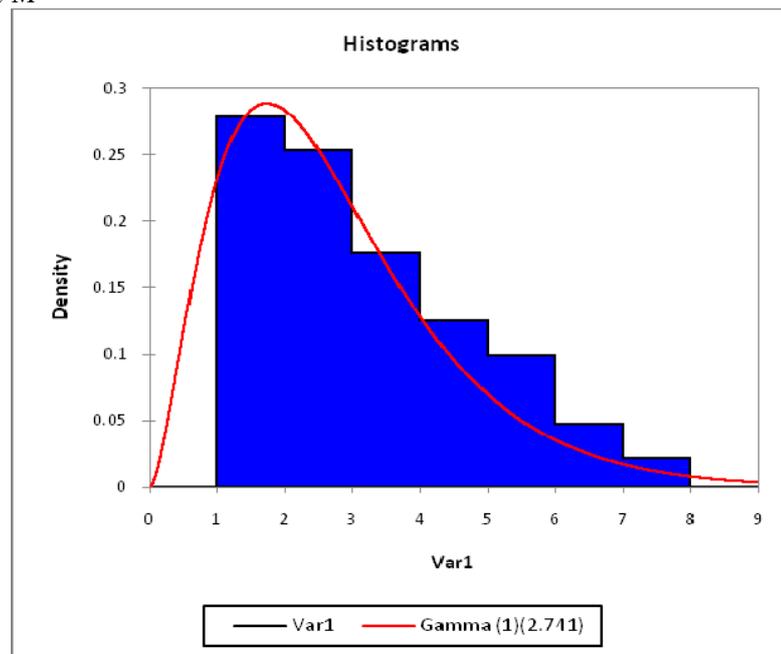


Gambar 7 Grafik *Probability Density Function* Gamma (1) *Expert M*

Jika melihat bentuk kurva pada gambar 7, tentunya kurva ini cukup cocok menyerupai distribusi awalnya serta memiliki nilai *p-value* dan %H0 yang paling tinggi diantara kurva lainnya untuk kurva gabungan yaitu sebesar 0.154 dan 15.4 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kurva yang paling *fit* untuk *expert M* adalah kurva distribusi gamma (1) sedangkan untuk kurva gabungan juga digunakan kurva gamma (1) karena memiliki nilai *p-value* dan %H0 yang tinggi. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kurva yang paling cocok untuk semua *expert* dan gabungan dari semua *expert* adalah kurva gamma (1). Untuk lebih jelasnya besaran-besaran *p-value* dan %H0 dapat dilihat pada lampiran.

Berikut adalah kurva distribusi gamma (1) untuk semua *expert* yang diperoleh dengan menggunakan *software XLSTAT*.

Expert M



Gambar 8. Grafik Probability Density Function Expert M

Tabel 6 Nilai Kerapatan Experts M

| <i>Predicted Damage</i> | <i>Predicted Damage</i> | <i>Qualitative</i> | <i>Frequency (%)</i> | <i>Density</i> |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|----------------|
| <i>None (0%)</i> | 1 | <i>Almost Certain</i> | 98.69 | 0.279 |
| <i>Slight (0.5%)</i> | 2 | <i>Very likely</i> | 89.59 | 0.253 |
| <i>Light (5%)</i> | 3 | <i>Fairly likely</i> | 62.29 | 0.176 |
| <i>Moderate (20%)</i> | 4 | <i>Fairly Unlikely</i> | 44.09 | 0.125 |
| <i>Heavy (45%)</i> | 5 | <i>Reasonably Unlikely</i> | 34.99 | 0.099 |
| <i>Major (80%)</i> | 6 | <i>Very Unlikely</i> | 16.79 | 0.047 |
| <i>Destroyed (100%)</i> | 7 | <i>Almost Impossible</i> | 7.69 | 0.022 |
| Total | | | | 1.000 |

Setelah mendapatkan besaran nilai distribusi kerapatan dari semua *experts*, kemudian melakukan pembobotan terhadap hasil dari *experts* tersebut mengingat bahwa setiap *expert* memiliki perbedaan pengalaman di bidang struktur bangunan tahan gempa. Bobot setiap *expert* ini diperoleh dari tabel kriteria *experts* yang dapat dilihat pada lampiran. Berikut adalah besarnya nilai bobot untuk setiap *experts* yang didapat berdasarkan kriteria *experts* tersebut.

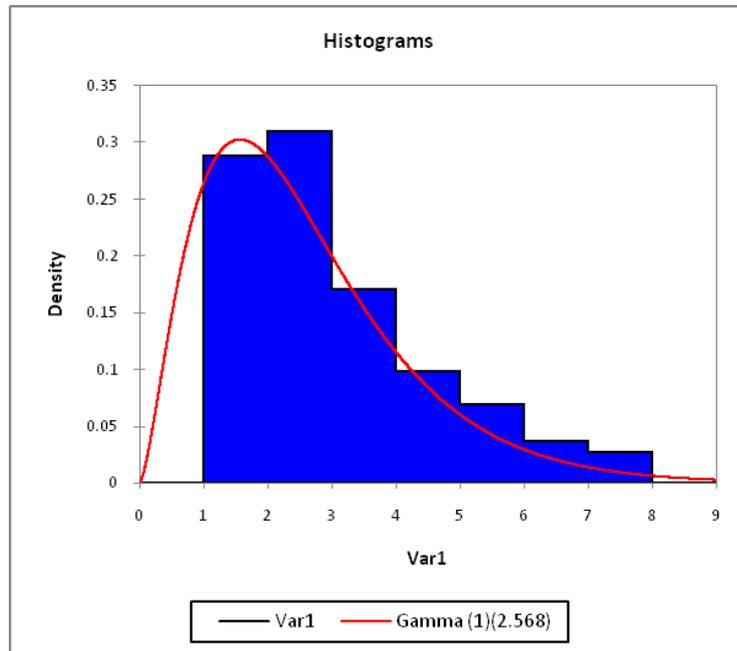
Tabel 7. Nilai Bobot Setiap Experts

| <i>Experts</i> | <i>Pembobotan (%)</i> |
|----------------|-----------------------|
| DY | 46.08 |
| SA | 8.29 |
| JI | 22.95 |
| AM | 5.22 |
| M | 2.68 |
| TI | 14.78 |
| Total | 100 |

Tabel 8. Nilai Bobot Kerapatan *Expert M*

| <i>Predicted Damage</i> | <i>Predicted Damage</i> | <i>Qualitative</i> | <i>Frequency (%)</i> | <i>Density</i> | <i>Bobot Density</i> |
|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------|----------------|----------------------|
| <i>None (0%)</i> | 1 | <i>Almost Certain</i> | 98.69 | 0.279 | 0.0075 |
| <i>Slight (0.5%)</i> | 2 | <i>Very likely</i> | 89.59 | 0.253 | 0.0068 |
| <i>Light (5%)</i> | 3 | <i>Fairly likely</i> | 62.29 | 0.176 | 0.0047 |
| <i>Moderate (20%)</i> | 4 | <i>Fairly Unlikely</i> | 44.09 | 0.125 | 0.0033 |
| <i>Heavy (45%)</i> | 5 | <i>Reasonably Unlikely</i> | 34.99 | 0.099 | 0.0026 |
| <i>Major (80%)</i> | 6 | <i>Very Unlikely</i> | 16.79 | 0.047 | 0.0013 |
| <i>Destroyed (100%)</i> | 7 | <i>Almost Impossible</i> | 7.69 | 0.022 | 0.0006 |
| Total | | | | 1.000 | |

Setelah melakukan pembobotan nilai *density* dari masing-masing *experts*, selanjutnya adalah menggabungkan semua kurva *Probability Density Function*. Penggabungan kurva dilakukan dengan cara menjumlahkan nilai *density* yang telah dibobot dari masing-masing *expert* tersebut untuk kemudian dimasukkan ke software XLSTAT sehingga menghasilkan nilai probabilitas gabungan serta kurva *Probability Density Function* gabungan.



Gambar 9. Grafik *Probability Density Function* Gabungan

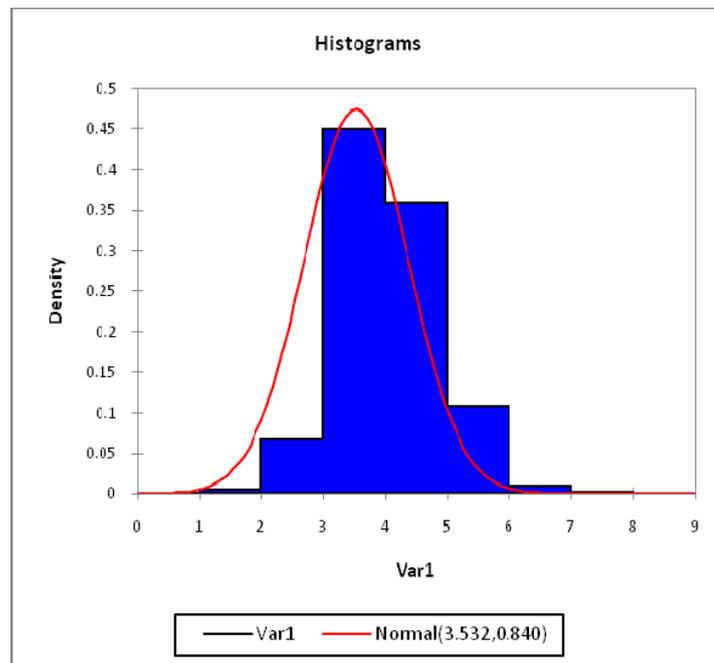
Tabel 9. Nilai Gabungan *Probability Density Function*

| <i>Predicted Damage</i> | <i>Predicted Damage</i> | <i>Probability</i> |
|-------------------------|-------------------------|--------------------|
| <i>None (0%)</i> | 1 | 0.288 |
| <i>Slight (0.5%)</i> | 2 | 0.310 |
| <i>Light (5%)</i> | 3 | 0.170 |
| <i>Moderate (20%)</i> | 4 | 0.098 |
| <i>Heavy (45%)</i> | 5 | 0.069 |
| <i>Major (80%)</i> | 6 | 0.037 |
| <i>Destroyed (100%)</i> | 7 | 0.027 |

Dengan melihat tabel 9. diperkirakan bahwa besarnya probabilitas kerusakan none (0%) yaitu sebesar 0,288, kerusakan slight (0,5%) sebesar 0,310, kerusakan light (5) sebesar 0,170, kerusakan moderate (20%) sebesar 0,098, kerusakan heavy (45%) sebesar 0,069, kerusakan major (80%) sebesar 0,037 dan kerusakan total (100%) yaitu sebesar 0,027.

E. Probabilitas Risiko Kerusakan Bangunan Skala MMI

Berikut adalah grafik *Probability Density Function* dengan menggunakan *software* XLSTAT, dimana grafik probabilitas gempa skala MMI ini membentuk grafik distribusi normal. Program XLSTAT digunakan untuk memfitting grafik dari data-data yang diberikan.



Gambar 10. Grafik *Probability Density Function* Skala MMI

Tabel 10. Probabilitas Kerusakan Bangunan Skala MMI

| Skala MMI | Probability |
|--------------|--------------|
| 1 | 0.006 |
| 2 | 0.066 |
| 3 | 0.45 |
| 4 | 0.359 |
| 5 | 0.108 |
| 6 | 0.01 |
| 7 | 0.001 |
| Total | 1.000 |

Dengan melihat gambar 4.29 dan tabel 4.21, dengan mengacu data gempa yang pernah terjadi selama 10 tahun terakhir, diperkirakan risiko kerusakan yang terjadi akibat gempa selama 10 tahun yang akan datang untuk bangunan gedung adalah MMI 3 dengan probabilitas tertinggi yaitu 0,45.

Terdapat perbedaan antara hasil *experts*, dengan skala MMI dimana dari hasil *experts* probabilitas risiko kerusakan yang tertinggi adalah *slight damage* sedangkan untuk skala MMI risiko kerusakan yang tertinggi adalah skala MMI 3, dimana skala MMI 3 termasuk dalam kategori *no damage* apabila dilihat pada tabel 4.6.

Kesimpulan

Dapat disimpulkan bahwa faktor-faktor yang mempengaruhi kerusakan bangunan akibat gempa yaitu, besarnya skala gempa yang terjadi, jarak episenter gempa ke lokasi yang ditinjau, kondisi tanah pada lokasi yang ditinjau, kondisi struktur pada bangunan, dan percepatan tanah (*Peak Ground Acceleration*). Berdasarkan hasil penelitian akhir, hipotesis “*Dengan melihat gambaran gempa selama 10 tahun terakhir di Kota Mamuju, diperkirakan bangunan gedung Mall Maleo Town Square mengalami risiko kerusakan ringan*” adalah benar bahwa bangunan gedung Mall Maleo Town Square di Kabupaten Mamuju mengalami risiko rusak ringan dimana probabilitas untuk kategori *slight damage* adalah 0,310, lebih tinggi dibandingkan kategori yang lainnya. Hal ini dapat disimpulkan bahwa bangunan gedung Mall Maleo Town Square tersebut berada pada kategori *slight damage*. Sedangkan menurut Skala MMI (*Modified Mercally Intensity*), kategori kerusakan yang sering terjadi adalah MMI 3 dengan probabilitas tertinggi yaitu 0,45 dan termasuk dalam kategori no damage. Dari hasil kerusakan bangunan gedung menurut *Experts* dan Skala MMI maka dapat disimpulkan bahwa bangunan gedung tersebut sesuai dengan perencanaan bangunan gedung tahan gempa SNI 1726 2002

Referensi

1. <https://mamujuethnic.wordpress.com/profil-mamuju/kab-mamuju/letak-geografis/>
2. Suryani, 2007. “Analisa Komparatif Nilai Parameter Sismotektonik dari Hubungan Magnitudo-Kumulatif dan Nonkumulatif untuk Jawa Timur Menggunakan Metode Kuadrat Terkecil dan Metode Maksimum Likelihood dari data BMG dan USGS Tahun 1973-2003”, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang.
3. SNI 03-1726-2002 “Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung”.
4. SNI 1726-2012 “Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung”.
5. U.S.Geological Survey, 2004, “The Severity of an Earthquake,” United States.<http://pubs.usgs.gov/gip/earthq4/severitygip.html>
6. <http://hansenkammer.wordpress.com/2010/09/16/kategori-kerusakan/>
7. Rosenkrantz, Walter. (1997). “Introduction to Probability and Statistics for Scientist and Engineers”. Singapura: Mc-GrawHill
8. Singarimbun, Irawati. 1995. “Metode Penelitian Survei: Teknik Wawancara”. Jakarta.
9. Smith, and Tirpak, 1990. “The Potential Effects of Global Climate Change on the United States”. Report to Congress, U.S. EPA, Washington, DC.
10. Abbie, Curt, Gregory, and Jack. (2009). "Incorporating Modeling Uncertainties in the Assessment of Seismic Collapse Risk of Buldings", *Structural Safety*, 197-211.
11. Amri, 2010. “Technology On Light Wall Reinforcing Sandwich Panel for Houses and High Rise Buildings”. *PORECO – K & A SYSTEM (Polystyrene Reinforcing Concrete)*.
12. Anwas, 1998. “Bentuk Muka Bumi”. Modul Geografi. Jakarta.
13. Banks, Carson, and Nelson, 1996. “Discrete-Event System Simulation 2nd Edition”, Prentice-Hall, Inc., New Jersey.
14. Bustami, 2009. “Disaster Management”. Community Preparedness Program – LIPI.
15. Camilleri, Denis 2003. “Malta's Risk Minimisation to Earthquake, Volcanic and Tsunami damage”.
16. Faizian, Schalcer and Faber, “Consequence Assessment in Earthquake Risk Management Using Damage Indicators”.

17. FEMA-226. 1992. "Collocation Impacts On the Vulnerability on Lifelines During Earthquakes With Applications to the Cajon Pass", California. FEMA-226/Februari 1992. Washington, D.C.
18. FEMA-433. 2004. "Using HAZUS-MH For Risk Assessment". FEMA 433/August 2004. Washington, D.C.
19. Hamilton, 1979. "Tectonics of the Indonesian region". USGS Profesional Paper 1078, U.S. Geological Survey, Boulder, Colorado.
20. Hanks, and Kanamori, 1979. "A moment magnitude scale", *Journal of Geophysical Research*, 84, 2348-2350.
21. Iuchi, Kanako and Esnard, Ann-Margaret. 2008. "Earthquake Impact Mitigation in Poor Urban Areas: The case of Metropolitan Manila", Manila.
22. Jayaram, and Baker (2009). "Deaggregation of lifeline risk: Insights for choosing deterministic scenario earthquakes,". *Proceedings, TCLEE2009 Conference: Lifeline Earthquake Engineering in a Multihazard Environment*, Oakland, California. 10p.
23. Luco, Cornell, Allin, and Yeo, 2002. "Annual Limit-State Frequencies for Partially-Inspected Earthquake-Damaged Buildings".
24. McGuire, 2004. "Seismic Hazard and Risk Analysis", 219 pp., EERI, Boulder Colorado.
25. Modarres, 1993. "What Every Engineer Should Know About Reliability and Risk Analysis". Marcel Dekker, inc. New York.
26. Natawidjaja, Evaluasi Bahaya Patahan Aktif, Tsunami dan Goncangan Gempa, Laboratorium Riset Bencana Alam. Geoteknologi – LIPI.
27. Natawidjaja, 2004. "Paleogeodetic Records of Seismic and Aseismic Subduction From Central Sumatran Microatolls, Indonesia". *J.Geophys. Res.*, 109(B4), 1-34.
28. Ozmen, Nurlu, Guler, and Kocafe. (1999). "Seismic Risk Analysis for the City of Ankara,". *Second Balkan Geophysical Congress and Exhibiton*.
29. Philip, Barbara and John. (2002). "A Guide to Using HAZUS for Mitigation". The National Institute of Building Sciences, Washington, D.C.
30. Richard and Jay (2007). "Design of Highway Bridges - LRFD Approach". John Wiley & Sons. Canada. 127-130.
31. Vanaspongse, Chitraporn. 2007. "Pedoman Pelatihan: Pengurangan Risiko Bencana yang Dimotori oleh Anak-anak di Sekolah dan Komunitas". Save The Children. Bangkok.
32. Vora, Mauli., Lee, Zu-Hsu., and Esnard, Ann-Margaret., 2008. "The Cost of Seismic Structural Damage and Preventive Action".
33. Vose, David. (2000). "Risk Analysis - A Qualitative Guide". John Wiley & Sons England.
34. Wartawarga: Student journalism. 2010. "Pengertian Manajemen Resiko". Jakarta.
35. Widodo., 2007. "Kerusakan Bangunan pada Gempa Yogyakarta 27 Mei 2006 : Akibat Kebelumjelasan Code, Sosialisasi atau Pelaksanaan?". *Seminar dan Pameran HAKI 2007*.
36. World Bank. 2005., "Natural Disaster Hotspots, A Global Risk Analysis" Washington, DC: Disaster Risk Management Series, 2005.
37. Yeo, Gee Liek and Cornell, Allin. 2009. "Building Life-Cycle Cost Analysis Due to Mainshock and Aftershock Occurrences," *Structural Safety*, 31, 396-408.

38. Yeo, Gee Liek and Cornell, Allin. 2003. "Building-specific Seismic Fatality Estimation Methodology," Proceedings, The Ninth International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering (ICASP9), San Francisco, California