

**PEMETAAN TINGKAT RESIKO KERUSAKAN AKIBAT
GEMPA BUMI DI SEKITAR SESAR PALU KORO
BERDASARKAN POLA PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM
DENGAN METODE MC.GUIRRE.R.K**

SKRIPSI

Oleh:
MUHAMMAD SYIFA' UDDIN
NIM. 11640007



**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK
IBRAHIM MALANG
2017**

**PEMETAAN TINGKAT RESIKO KERUSAKAN AKIBAT GEMPA BUMI
DI SEKITAR SESAR PALU KORO
BERDASARKAN POLA PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DENGAN
METODE MC.GUIRRE.R.K**

SKRIPSI

**Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:
MUHAMMAD SYIFA' UDDIN
NIM. 11640007**

**JURUSAN FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

**PEMETAAN TINGKAT RESIKO KERUSAKAN AKIBAT GEMPA BUMI DI
SEKITAR SESAR PALU KORO
BERDASARKAN POLA PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DENGAN
METODE MC.GUIRRE.R.K**

SKRIPSI

Oleh:
MUHAMMAD SYIFA' UDDIN
NIM. 11640007

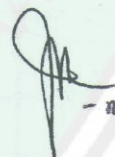
Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal:

Pembimbing I



Drs. Abdul Basid, M.Si
NIP. 19650504 199003 1 003

Pembimbing II



Umaiatus Syarifah, M.A
NIP. 19820925 200901 2 005

Mengetahui,
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMETAAN TINGKAT RESIKO KERUSAKAN AKIBAT GEMPA BUMI DI
SEKITAR SESAR PALU KOROBERDASARKAN POLA PERCEPATAN
TANAH MAKSIMUM DENGAN METODE MC.GUIRRE.R.K**

SKRIPSI

Oleh:
MUHAMMAD SYIFA' UDDIN
NIM. 11640007

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)
Tanggal: 29 Desember 2016

Penguji Utama	<u>Irjan, M.Si</u> NIP. 19691231 200604 1 003	
Ketua Penguji	<u>Eriksa Rani, M.Si</u> NIP. 19810613 2006042 002	
Sekretaris Penguji	<u>Drs. Abdul Basid, M.Si</u> NIP. 19650504 199003 1 003	
Anggota Penguji	<u>Umayyatus Syarifah, M.A</u> NIP. 19820925 200901 2 005	

Mengetahui dan mengesahkan,
Ketua Jurusan Fisika



Erna Hastuti, M.Si
NIP. 19811119 200801 2 009

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : MUHAMMAD SYIFA' UDDIN
 NIM : 11640007
 Jurusan : FISIKA
 Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI
 Judul Penelitian : Pemetaan Tingkat Resiko Kerusakan Akibat Gempa Bumi
 Di Sekitar Sesar Palu Koro Berdasarkan Pola Percepatan
 Tanah Maksimum Dengan Metode Mc.Guirre.R.K

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilan data, tulisan atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber kutipan pada daftar pustaka. Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atau perbuatan tersebut.

Malang, 29 Desember 2016
 Yang membuat pernyataan,



MUHAMMAD SYIFA' UDDIN
 NIM. 11640007

MOTTO

*“Jika Kau Bertanggung Jawab Atas Hidup mu
Kau Akan Menjadikan Segalanya Terjadi”*

*“Selamat Membentuk Dan
Menjadi”*

**“Ikhtiyar yang kuat dan berdoa yang sungguh,
hingga tuhan pun malu untuk mengatakan
Tidak”**



HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan segala puja dan puji syukur kepada Tuhan yang Maha Esa dan atas dukungan dan do'a dari orang-orang tercinta, akhirnya skripsi ini dapat dirampungkan dengan baik dan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, dengan rasa bangga dan bahagia saya khaturkan rasa syukur dan terimakasih saya kepada:

Ibu Sumiati kata maaf mungkin yang bisa di ucapkan meskipun belum bisa untuk menjadi anak yang dibanggakan minimal dukungan dan kasih sayangmu akhirnya skripsi ini selesai. Teruntuk mu bapak nur, di semester yang mengerikan ini akhirnya anak pertama mu bisa menyelesaikan satu jenjang dalam hidupnya dan trimakasih atas perjuangannya sehingga anak mu bisa pada tahap yang setinggi ini, terimakasih untuk kalian berdua.

Bapak dan Ibu Dosen pembimbing, penguji dan pengajar, yang selama ini telah tulus dan ikhlas meluangkan waktunya untuk menuntun dan mengarahkan saya, memberikan bimbingan dan pelajaran yang tiada ternilai harganya, agar saya menjadi lebih baik. Terimakasih banyak Bapak dan Ibu dosen, jasa kalian akan selalu terpatrit di hati.

Saudaraku Muhammad Syamsul Arifin (Pipin), Son Haji, Imron Rosadi dan Putri yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, senyum dan do'anya untuk keberhasilan ini, cinta kalian adalah memberikan kobaran semangat yang menggebu, terimakasih dan sayang ku untuk kalian.

Teruntuk mu saudara PSHT UIN MALANG terimakasih atas perjalanan yang indah yang tiada tara (2012-2013) Alimin Japarak Harisbro Basith Hamid Dita Dwi HIFNI agus zuzin fuad rafil suheri sovi syafak kacong fitriirhamna alfiawan ali dan seluruh warga psht uin malang. Terimakasih,

Kepada mu Rayon Pencerahan Galileo terimakasih proses yang sungguh itu mengajarkan aku untuk siap melepas status mahasiwa dan sungguh sangat siap untuk terjun kemasyarakat untuk bergelut dengannya, terimakasih diwaktu yang tepat ini saya memantapkan kaki untuk berinjak, terimakasih. Muiz dayat hamdan bahar basit sasi faiq septian iva awib misba.

Darimu physick 2011 teman seperjuangan yang selalu memberi suport (Fika iin nasih nisak linda amina leli hanif galih ais rahmat icha eka dan seluruhnya, trimakasih

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Syukur alhamdulillah penulis haturkan kehadiran Allah Swt yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan studi di Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang sekaligus menyelesaikan skripsi ini dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa terlimpahkan kepada Nabi Muhammad Saw, para sahabat dan segenap orang yang mengikuti jejaknya.

Penyusunan laporan yang berjudul "Pemetaan Tingkat Kerusakan Akibat Gempa Bumi Di Sekitar Palu Koro Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum Dengan Metode Mc.Guirre.R.K" ini, disusun dalam rangka menyelesaikan tugas akhir/skripsi yang merupakan salah satu syarat menyelesaikan pendidikan Strata Satu (S1) Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Maulana Malik Ibrahim Malang.

Pada kesempatan ini, penulis haturkan ucapan terima kasih seiring do'a dan harapan *jazakumullah ahsanal jaza'* kepada semua pihak yang telah membantu terselesaikannya skripsi ini. Ucapan terima kasih ini penulis sampaikan kepada:

1. Prof. Dr. Mudjia Raharjo, selaku rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. drh. Bayyinatul Mukhtaromah, M.Si, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Erna Hastuti, M.Si selaku ketua Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Drs. Abdul Basid, M.Si dan Umaiatus Syarifah, M.A, selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengetahuan dalam menyelesaikan skripsi ini.
5. Segenap civitas akademika Jurusan Fisika, terutama seluruh dosen, laboran dan staf karyawan yang bersedia membantu, menyediakan waktu bagi penulis untuk berbagi ilmu dan memberikan bimbingan

6. Orang tua tercinta serta segenap keluarga yang senantiasa memberikan do'a, kepercayaan, motivasi serta restunya kepada penulis dalam menuntut ilmu.
7. Teman-teman yang selalu membantu dan memberikan motivasi, inspirasi serta kebersamaannya selama ini.
8. Semua pihak yang ikut membantu dalam menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan dan penulis berharap semoga skripsi ini bisa memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi penulis secara pribadi. *Amin Ya Rabbal Alamin.*

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 28 Desember 2016

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
ABSTRAK	xv
ABSTRACT	xvi
ملخص	xvii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	
2.1 Gempa Bumi Dalam Al-quran	7
2.2 Orogenesa Sulawesi	9
2.3 Teori Tektonik Lempeng	10
2.3.1 Batas pertemuan Lempeng	14
2.3.2 Akibat Pergeseran Lempeng Tektonik	16
2.4 Konsep Umum Gempa Bumi	17
2.5 Gelombang seismik	18
2.5.1 Jenis Gelombang Seismik	19
2.6 Jenis Gempa Bumi	22
2.6.1 Gempa Bumi Berdasarkan Faktor Penyebabnya	22
2.6.2 Gempa Bumi Berdasarkan Kekuatannya	23
2.6.3 Gempa Bumi Berdasarkan Kedalaman Hiposentrum	24
2.7 Teori Elastisitas Pegas	24
2.8 Sesar	25
2.9 Percepatan Tanah	27
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	34
3.2 Alat Penelitian	34
3.3 Jenis Data	34
3.4 Metode Perhitungan dan Pengolahan Data	34
3.5 Diagram Alir	37
BAB IV PEMBAHASAN	

4.1 Data dan Analisa	38
4.1.1 Data Dan Analisa Episenter	38
4.1.2 Data Dan Analisa Hiposenter	44
4.1.3 Data Dan Analisa Magnitudo	50
4.2 Hasil Perhitungan	52
4.2.1 Data Dan Analisa.....	52
4.2.2 Analisa Dan Data Hiposenter	54
4.2.3 Data Dan Analisa Magnitudo	55
4.3 Hasil Perhitungan	56
4.4 Pembahasan.....	57
4.4.1 Tahap Pengolahan Data.....	57
4.4.2 Tahap Pemetaan	58
4.4.3 Hasil Percepatan Tanah.....	58
4.5 Pembahasan Hasil Analisa	62
BAB V PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	73
5.2 Saran.....	73
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pertemuan Lempeng Transform.....	14
Gambar 2.2 Lempeng Tektonik Konvergen.....	14
Gambar 2.3 Lempeng tektonik Transform.....	15
Gambar 2.4 Mekanisme Gempa Bumi.....	16
Gambar 2.5 Gelombang P.....	19
Gambar 2.6 Gelombang S.....	20
Gambar 2.7 Gelombang Reyleigh.....	21
Gambar 2.8 Gelombang Love.....	21
Gambar 2.9 Mekanisme Gempa Bumi.....	24
Gambar 2.10 Sesar Mendatar.....	25
Gambar 2.11 Oblique slip Fault.....	25
Gambar 2.12 Sesar Naik.....	26
Gambar 2.13 Sesar Normal.....	26
Gambar 3.1 Diagram Alir.....	37
Gambar 4.1 Peta Geologi Lembar Malili.....	38
Gambar 4.2 Peta Geologi Poso.....	44
Gambar 4.3 Peta Geologi Lembar Palu.....	50
Gambar 4.4 Titik gempa bumi di sekitar Sesar Palu pada tahun 1985-2015.....	52
Gambar 4.5 Hiposentrum.....	54
Gambar 4.6 Kekuatan Gempa.....	56
Gambar 4.7 Peta Grid untuk pembagian grid wilayah.....	58
Gambar 4.8 Grid peta.....	60
Gambar 4.9 Interpolasi pada peta.....	60
Gambar 4.10 Pemilahan Kecamatan pada peta.....	61
Gambar 4.11 pengonturan nilai percepatan tanah maksimum.....	61
Gambar 4.12 pengonturan secara spesifikasi pada peta.....	62
Gambar 4.13 Hasil Percepatan Tanah.....	64
Gambar 4.14 Peta Administrasi.....	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Pembagian wilayah Indonesia berdasarkan tingkat bahaya gempa bumi.....	52
Tabel 4.1 Kode Kecamatan di Sesar Palu dan sekitarnya.....	52
Tabel 4.2 Pembagian wilayah Indonesia berdasarkan tingkat bahaya gempabumi.....	53
Tabel 4.3 Klasifikasi daerah Sesar Palu berdasarkan pola-pola yang dihasilkan dengan metode Mc. Guirre R.K.....	54



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Gempa Di Sesar Palu Koro

Lampiran 2 Hasil PGA



ABSTRAK

Syifa' Uddin, Muhammad. 2017. **Pemetaan Tingkat Resiko Kerusakan Akibat Gempa Bumi di Sekitar Sesar Palu Koro Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Maksimum Dengan Metode Mc.Guirre.R.K.** Skripsi. Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Umayatus Syarifah, M.A

Kata Kunci : Gempabumi, Peak Ground Acceleration (PGA), Daerah rawan kerusakan

Gempa bumi merupakan suatu fenomena alam yang tidak dapat dihindari, tidak dapat diramalkan kapan terjadi dan berapa besarnya. Kerusakan yang ditimbulkannya tidak hanya menghancurkan harta benda, tetapi sering juga merenggut ribuan jiwa manusia, misalnya gempa bumi yang terjadi di Tambora pada tahun 1968 dengan skala 6,3 Richter. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai PGA di daerah Sesar Palu yang dibatasi titik koordinat 119.2° - 121° Bujur Timur dan -0.61° - -2.7° Lintang Selatan.

Metode penelitian yang di gunakan adalah metode Mc Guirre R.K, metode ini digunakan untuk mengetahui nilai getaran percepatan tanah maksimum, sebagai acuan pemetaan tingkat resiko kerusakan akibat gempa bumi.

Berdasarkan hasil penelusuran data ISC diketahui bahwa sebagian besar berskala 5 SR dengan seismisitas yang tinggi. Setelah dilakukan analisa data dengan menghitung nilai percepatan getaran tanah di daerah sekitar Sesar Palu didapatkan berkisar 13-168 gal. Sebaran daerah yang rawan mengalami kerusakan akibat gempa berkonsentrasi pada tiga titik di Kecamatan Budong-Budong, Pamona Utara, Sigi Maru dan Dolo.

ABSTRACT

Syifa' Uddin, Muhammad. 2017. **Mapping of damage risk level as a result of Earthquake Around Palu Koro Fault based on the pattern of Peak Ground Acceleration with Mc Guirre R.K method.** Thesis. Physics Department, Faculty of science and technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University of Malang. Supervisor: (I) Drs. Abdul Basid, M.Si (II) Umayyatus Syarifah, M.A.

Key words : Earthquake, Peak Ground Acceleration (PGA), Damage prone areas.

Earthquake is natural phenomenon that can not be avoided or predicted when it will happen and how big it will be. The damage it cause is not only destroying property, but is often claiming thousand of lives as well, for example an earthquake that happened in Tambora 1968 with 6.3 richter scale.

This study is intended to determine the value of *PGA* in the area of palu fault limited by the coordinate of 119.2 – 121.0 east longitude and -0.61 - -2.7 south latitude. The research method used was Mc Guirre R.K method, this method is used to determine the value of peak ground acceleration vibration, as the mapping reference of damage risk level due to the earthquake.

Based on the results of ICS data searches, it is known that the majority of the earthquakes are on 5 richter scale with high seismicity. After analyzing the data by calculating the value of ground vibration acceleration in the area around Palu Fault, it is obtained ranges from 13 – 168 gal. Area distribution prone to earthquake damage are concentrated on these three points in districts Budong-Budong North Pamona, Sigi Maru and Dolo.

الملخص

محمد شفاء الدين، ٦٠١٦ رسم الخرائط لمستوى أضرار المخاطرة زلزلا حوالي سايسار بالو كورو مؤسسا على نمط تسريع البرية بالحد الأقصى مع طريقة مج.غويري ر.ك. البحث الجامعي. شعبة الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة الإسلام.
المشرف 1 : عبد الباسط الماجيستر. المشرفة 2 : أمية الشريفة الماجيستر

كلمات البحث: زلزال، تسريع قمة الأرض (PGA)، المناطق بعرضة الضرر

الزلازل هي ظاهرة طبيعية لا يمكن تجنبها، لا يمكن التنبؤ متى حدث ذلك وكيف ذلك بكثير. الأضرار التي تسببها ليس تدمير الممتلكات فقط، و لكن كثيرا ما ادعى أيضا آلافا من الأرواح، مثل زلزال الذي وقع في تامبورا عام 1986 مع 6.3 درجة مقياس ريختر. يهدف هذا الحث لمعرفة قيمة ، تسريع قمة الأرض (PGA) في منطقة سايسار بالو يحددها نقطة إحداثيات 119.2-121 خطوط الطول الشرق -0.61- 2.7 جنوبا.

طريقة البحث المستخدمة هي طريقة مج.غويري ر.ك. استخدام هذا الأسلوب لمعرفة قيمة الاهتزاز التسارع الأرضي بالحد الأقصى، كما أنه أسس رسم الخرائط لمستوى أضرار المخاطرة زلزلا.

بناء على نتائج اقتفاء البيانات ISC من المعروف أن غالبية ربال S5 مع ساهميتاسة عالية. بعد تحليل البيانات عن طريق حساب سرعة اهتزاز الأرض في المنطقة المحيطة سايسار بالو يحصل على نطاقات 13-168 غال. توزيع المناطق المعرضة لأضرار الزلزال تركز على ثلاث نقاط في ناحية بودانغ- بودانغ، فامونا الشمال، سيحي مارو و دولو.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gempa bumi merupakan suatu fenomena alam yang tidak dapat dihindari, tidak dapat diramalkan kapan terjadi dan berapa besarnya. Kerusakan yang ditimbulkannya tidak hanya menghancurkan harta benda, tetapi sering juga merenggut ribuan jiwa manusia, misalnya gempa bumi yang terjadidi tambu pada tahun 1968 dengan skala 6,3 Richter. Akibat adanya gempa tersebut banyak sekali memakan korban harta dan jiwa. Gempa bumi merupakan fenomena alam yang sering disebutkan dalam al-Quran. Hampir puluhan kali kata gempa bumi atau yang sama artinya disebut dalam al-Quran, diantaranya surah Al-Insyiqaaq adalah:

وَإِذَا الْأَرْضُ مُدَّتْ

“ *Dan apabila bumi diratakan* ”(Q.S.al-Insyiqaaq: 3).

Setiap tahun planet bumi selalu digoyang gempa, baik yang tercatat melalui *seismograph*, maupun yang dapat dirasakan oleh manusia. Bencana alam gempa bumi merupakan fenomena alam yang tidak dapat diprediksi kejadiannya, namun bahaya resiko yang diakibatkan oleh gempa bumi dapat dihindari dan dikurangi (dimitigasi) (Natawidjaya, 2005).

Indonesia merupakan negara kepulauan yang terletak pada pertemuan empat lempeng yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, Pasifik, dan laut Filipina (Hall,2002). Pertemuan keempat lempeng tersebut mengakibatkan terbentuknya tatanan tektonik yang rumit. Daerah Sulawesi merupakan bagian Indonesia bagian timur yang memiliki tatanan tektonik yang rumit.

Daerah Sulawesi Tengah merupakan salah satu daerah rawan bencana gempa bumi di Indonesia, karena terletak dekat dengan sumber gempa bumi yang berada di darat dan di laut. Sumber-sumber gempa bumi tersebut terbentuk akibat proses tektonik yang terjadi sebelumnya, sumber gempa bumi di laut berasal dari penunjaman dari Sulawesi Utara. Sedangkan, sumber gempa bumi di darat bersumber dari beberapa Sesat aktif di daratan Sulawesi Tengah, salah satunya adalah Sesar Palu Koro.

Ayat-ayat al-Quran memerintahkan manusia untuk selalu memikirkan hakikat penciptaan makhluk-makhluk Allah di alam semesta ini, mengkaji gejala-gejala di alam semesta ini, dengan harapan manusia dapat mensyukuri nikmat Allah tersebut hingga menjadi insanulul albab. Seperti yang ditegaskan di bawah ini:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ وَأَخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لآيَاتٍ لِّأُولِي الْأَلْبَابِ ﴿١٩٠﴾ الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمَاوَاتِ وَالْأَرْضِ رَبَّنَا مَا خَلَقْتَ هَذَا بَاطِلًا سُبْحَانَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, dan silih bergantinya malam dan siang terdapat tanda-tanda bagi orang-orang yang berakal (yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri atau duduk atau dalam keadan berbaring dan mereka memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata): "Ya Tuhan kami, tiadalah Engkau menciptakan Ini dengan sia-sia, Maha Suci Engkau, Maka peliharalah kami dari siksa neraka” (Q.S al-Imran: 190-191).

Ulul albab adalah orang-orang yang selalu mengingat Allah dalam setiap keadaannya, memikirkan kejadian langit dan bumi, menguasai ilmu syahadat, menyadari bahwa kejadian alam ini tidak sia-sia dan selalu berusaha mendapatkan manfaatnya atau lebih tegas ia mengembangkan teknologi, serta berdoa kepada Allah agar terlepas dari siksa neraka atau dengan perkataan lain ia sangat khawatir dan takut bahwa usahanya berkesudahan dengan malapetaka.

Telah jelas bahwa al-Qur'an banyak sekali menerangkan tentang segala sesuatu mengenai kejadian-kejadian alam, salah satunya adalah gempa bumi. Dalam abad modern ini tak sedikit kejadian alam yang sebelumnya telah termaktub dalam al-Qur'an telah terbukti secara ilmiah tentang hal tersebut. Dalam al-Qur'an telah ditegaskan oleh Allah secara umum tentang terjadinya gempa bumi dalam perspektif al-Quran. Firman Allah:

كَلَّا إِذَا دُكَّتِ الْأَرْضُ دَكًّا دَكًّا ﴿٢١﴾

“Jangan (berbuat demikian), apabila bumi digoncang kan berturut-turut” (Q.S al-Fajr: 21).

Ditinjau dari ilmu geofisika, Indonesia terletak di persimpangan tiga lempeng tektonik dunia, yaitu lempeng Australia, lempeng Asia (Eurasia) dan lempeng Pasifik. Ketiga lempeng ini bergerak *relative* antara satu terhadap yang lain. Pergerakan *relative* ketiga lempeng ini merupakan penyebab utama aktivitas gempa bumi di Indonesia. Indonesia juga tempat tumbuhnya gejala geologi tektonik baru antara gerak kerak bumi masa kuarter dengan zona seismik, sehingga wajar apabila Indonesia merupakan daerah rawan gempa. Disamping itu, Indonesia merupakan negara dengan populasi yang sangat padat di dunia dibandingkan dengan negara-negara lain.

Kerugian diberbagai sektor ketika terjadi gempa bumi ini yang mendasari penulis mengambil penelitian lebih dalam mengenai gempa bumi dengan tujuan bisa meminimalisir korban baik harta benda maupun jiwa.

Di penulisan ini disajikan data gempa bumi untuk *magnitude* ≤ 4 SR di wilayah Sesar palu dan sekitarnya selama kurun waktu antara 1985 – 2015. Selama rentang waktu tersebut diharapkan data yang diperoleh semakin valid

serta mencakup data-data gempa besar yang pernah melanda wilayah Sesar Palu. Pengambilan data seismisitas dengan magnitudo tersebut mengacu pada kekuatan gempa bumi yang termasuk dalam skala kecil ke atas. Secara garis besar intensitas atau tingkat kerusakan yang terjadi akibat gempa bergantung dari kekuatan dan kualitas bangunan, kondisi geologi dan geotektonik lokasi bangunan serta percepatan tanah daerah lokasi gempa bumi terjadi. Dari beberapa faktor tersebut percepatan tanah merupakan parameter yang perlu dikaji untuk setiap kajian gempa bumi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas rumusan masalah dari penelitian ini adalah

1. Bagaimana mengetahui nilai percepatan getaran tanah maksimum untuk daerah Sesar Palu Koro selama periode 1985-2015.
2. Bagaimana model kontur percepatan getaran tanah maksimum untuk daerah Sesar Palu Koro selama periode 1985-2015.
3. Bagaimana pola pemetaan percepatan getaran tanah maksimum untuk mengetahui letak daerah rawan kerusakan gempa bumi di daerah Sesar Palu Koro.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilaksanakannya penelitian ini adalah:

1. Dapat mengetahui nilai percepatan getaran tanah maksimum untuk wilayah Sesar Palu Koro periode 1985-2015.
2. Dapat memodelkan kontur percepatan getaran tanah maksimum daerah Sesar Palu Koro periode 1985-2015.
3. Dapat mengetahui pola pemetaan percepatan getaran tanah maksimum untuk mengetahui letak daerah rawan kerusakan gempa bumi di daerah Sesar Palu Koro.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Untuk mengetahui percepatan getaran tanah maksimum dan intensitas gempa bumi di daerah getaran Sesar Palu Koro periode 1985-2015.
2. Untuk mengetahui letak daerah rawan kerusakan gempa bumi sebagai usaha mitigasi bencana

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah

1. Daerah yang diteliti adalah daerah sekitar Sesar Palu Koro yang dibatasi titik kordinat $119.2-121^0$ Bujur Timur dan $-0.61--2.7^0$ Lintang Selatan. Data seismisitas dalam kurun waktu 1985-2015 yang bersumber pada USGS, dengan ketentuan *magnitude* lebih besar atau sama dengan 4 SR.
2. Data seismisitas yang digunakan adalah data seimisitas dengan gempa bumi sedang, merusak, besar dan sangat besar.

3. Metode yang digunakan adalah Mc.Guirre R.K.



BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Gempa Bumi dalam Al-Quran

Al-Quran sudah menjelaskan berabad-abad lalu tentang kedasyatan gempa bumi. Allah Swt sering menggambarkan peristiwa gempa bumi sebagai azab bagi mereka yang lalai kepada Allah Swt, akan tetapi ada juga penggambaran gempa bumi yang merupakan nikmat dari Allah Swt. Di dalam al-Qur'an, hampir puluhan kali kata gempa bumi atau kata yang semisal disebutkan ada juga yang dengan pengulangan; *ar-rajfatuh*, *rujjati al-ardhu*, *dukkati al-ardhu*, *zulzilati al-ardhu*, *syaqaqnaa al-ardha* dan masih banyak lagi kata gempa yang termaktub dalam ayat al-Quran.

Gempa bumi yang merupakan fenomena alam paling mengerikan dan dasyat korbanya. Gempa bumi menjadi bencana paling menakutkan yang sering kali tak ada makhluk yang kuasa menghindar dari bahayanya. Pada saat terjadi gempa, bumi seolah murka dan hendak memporak-porandakan seluruh isinya.

تَكَادُ السَّمَاوَاتُ يَنْفَطَرْنَ مِنْهُ وَتَنْشَقُّ الْأَرْضُ وَتَخِرُّ الْجِبَالُ هَدًا

“Hampir-hampir langit pecah karena Ucapan itu, dan bumi belah, dan gunung-gunung runtuh (Q.S Maryam: 90).

Ada beberapa cara yang digunakan oleh para ilmuwan Geofisika maupun Geologi untuk meminimalisir korban yang diakibatkan oleh gempa. Mulai dari pemetaan daerah rawan gempa hingga membuat instrument yang terkait. Hal tersebut tak terlepas dari pemahaman awal mengenai parameter yang didapatkan dari gempa bumi serta mengenai konsep awal gempa bumi itu sendiri, dan bagaimana gempa bumi itu terjadi.

Jauh sebelum teknologi berkembang, al-Quran pada abad ke 7 telah menjelaskannya secara garis besar mengenai gempa bumi, seperti yang difirmankan oleh Allah Swt dalam surat al Fajr 21 :

كَلَّا إِذَا دُكَّتِ الْأَرْضُ دَكًّا دَكًّا ﴿٢١﴾

“Jangan (berbuat demikian). apabila bumi digoncangkan berturut-turut(Q.S al-Fajr: 21).

Ayat 21 pada surat al-Fajr berbunyi, janganlah (berbuat demikian), yakni jangan lah mengira, bahwa tidak ada catatan dalam setiap perbuatan mereka yang akan diperhitungkan dihari perhitungan. Juga jangan lah berfikir, bahwa kekayaan duniawi yang telah Allah karuniakan kepada mereka semata-mata untuk kemuliaan mereka dan bukan untuk menguji mereka. Selanjutnya dikatakan: ”Ketika bumi digoncangkan berturut-turut”. Istilah *dakk* yang arti asalnya adalah “Tanah datar” lalu digunakan dalam rangka “menghancurkan bukit- dan bangunan-bangunan rata menjadi debu”, sedangkan *dakkih* adalah adalah “suatu panggung yang diratakan dan landau untuk duduk” penggulungan *dakk* dalam ayat ini ialah sebagai penekanan.

Menurut M. Quraish Shihab kata (دَكَّة) *dukkat* terambil dari kata (كَد) *dakka* yang berarti “menghantam” sesuatu yang sehingga menghancurkannya. Pengulangan kata *dakkan* untuk mengisyaratkan bahwa penghancuran itu benar-benar akan terjadi, atau untuk mengisyaratkan berulangnya penghancuran itu, masing-masing wilayah atau gunung dihancurkan sehingga benar-benar hancur lebur.

Secara umum, pandangan ancaman di atas antara lain berbentuk gempa bumi dan peristiwa-peristiwa menakutkan di akhir dunia ini dan permulaan dan permulaan kebangkitan (Kamal, 2006).

Jika ditinjau berdasarkan ilmu Geofisika, kata di atas yang mengandung makna *dan diangkatlah ke atas* merupakan kerak bumi yang berupa lempeng tektonik yang berada di atas fluida bawah permukaan yang sangat panas. Lempeng tektonik ini bergerak *relative* satu sama lain. Adanya aliran panas yang mengalir di dalam atmosfer yang berupa arus konveksi yang merupakan sumber kekuatan utama yang menyebabkan terjadinya pergerakan lempeng. Maksud kata *bumi dan gunung-gunung lalu keduanya dibenturkan keduanya yang bermakna diadukan* ini yaitu benturan yang terjadi antara lempeng yang satu terhadap lempeng yang lain yang menyebabkan terjadinya gempa bumi tersebut.

2.2 Orogenesa Sulawesi

Orogenesa neogen di Sulawesi dan sekitarnya dicirikan oleh tumbukan khas testis (*tethyan type collision*) antara benua mikro dan busur kepulauan dan/atau lajur tunjaman tua dipinggiran timur-tenggara Daratan Sunda. Tumbukan ini diikuti oleh pensesaran sangkup di bagian tengah Sulawesi, pengaktifan kembali pergerakan transpesional mengiri Sesar Palu-Koro dan kegiatan intrusi plutonik pada neogen. Jalur ini mengakibatkan jalur ofiolit Sulawesi Timur (*JOST*). Bersama sedimen pelagos tersesarkan, terimbikasikan, terangkat dan membentuk pegunungan di timur Sulawesi dengan puncak-puncak ketinggian lebih dari 3000 m di atas muka laut.

Tumbukan ini juga mengakibatkan jalur malihan Sulawesi Tengah tersesarkan ke barat ke atas jalur magmatik Sulawesi barat, terimbrikasi, terangkat dan membentuk rangkaian pegunungan dengan puncak-puncak berketinggian hampir 3000 m di atas muka laut. Pensesaran sungkup ini menyebabkan terjadinya jalur sesar dan lipatan sedimen (tektonik kulit tipis /*thin skinned tectonics*) di muka benua dan membentuk lipatan majene. Sesar ini terus berlanjut ke barat dan teraktifkan kembali hingga sekarang dan melibatkan sedimen kuartar di Selat Makasar.

Sementara di bagian Tengah Sulawesi, orogenesis ini diperkuat oleh tersesarkannya batuan malihan bertekanan tinggi dari lajur tunjaman tua ke atas busur magmatik dan teraktifkannya kembali Sesar Palu-Koro dengan pergerakan mendatar transpesional mengiri dalam bentuk struktur bunga positif. Kegiatan tektonik ini mengakibatkan berbagai runtur termasuk sedimen pinggiran benua di jalur Magmatik Sulawesi Barat dan jalur Malihan Sulawesi Tengah, terlipat, tersesarkan, terimbrikasikan dan terduplikasikan. Kemudian bersamaan dengan kegiatan intrusi plutonik terangkat dan bertinggian lebih dari 3000 m di atas muka laut.

Sedimen klastika paska orogenesis jenis molasa diendapkan di berbagai terban dan sebagian berupa endapan kipas bawah laut di perairan di sekeliling Sulawesi. Runtuhan sedimen molasa di bagian barat Sulawesi dikuasai rombakan batuan yang berasal dari busur vulkano-plutonik Sulawesi Barat, sedangkan di bagian timur Sulawesi dikuasai oleh rombakan batuan ofiolit dan batuan dari Mintakan Banggai-Sula.

Data anomali gaya berat memperlihatkan di segmen utara di Lengan Timur dan segmen selatan di Lengan Utara Sulawesi, batuan ofiolit menepis ke arah timur (Silver et al., 1978), yang mengindikasikan, bahwa tumbukan antara dua mintakat yang berbeda ini berlangsung sederhana, lajur ofiolit tersesarkan dari ke atas (*obducted*) pinggirannya benua mikro (Gb. 8.11). Sedangkan di segmen tengah kemungkinan tumbukan berbentuk kelopak, dimana kelopak atas lajur ofiolit tersesarkan ke pinggirannya benua mikro tersebut. Keadaan ini mengakibatkan terjadinya tumbukan antara benua mikro dengan pinggirannya benua Daratan Sunda di bawah tunjaman kapur yang teraksi dan jalur ofiolit di bagian tengah Sulawesi. Data anomali gaya berat juga mengindikasikan, bahwa di kawasan ini terdapat runtuhnya batuan ofiolit dan plutonik lainnya sangat tebal.

Dalam waktu bersamaan, seiring membukanya Selat Makasar, di kawasan pinggirannya barat dan tengah terjadi kegiatan tektonik kulit tipis (*thin skinned tectonics*) yang menyebabkan runtuhnya sedimen pinggirannya 'anak benua' Daratan Sunda berumur Kapur dan tersier tersesar-sungkup di atas batuan basement di Jalur Lipatan Majene (Gb. 8; Coffield et al., 1993). Data seismik dan gaya berat juga menunjukkan terjadinya jalur lipatan dan sesar di kawasan Kalosi-Tana Toraja.

Di penghujung Orogenesa Sulawesi ini, di bagian timur Sulawesi seiring bergerak majunya lajur tumbukan, batuan ofiolit tersesarkan ke atas batuan sedimen peralihan neogen dan kaya sisa tanaman dan desa-desa lignit yang terendapkan di cekungan Tomiri dipinggirannya barat Mintakat Banggai-Sula. Kegiatan tektonik tersebut mengakibatkan naiknya suhu dan tekanan yang memfasilitasi pembentukan hidrokarbon, yang kemudian terperangkap dalam

terumbu gampingan Neogen. Seperti yang terdapat di Blok Matindok, bagian timur Sulawesi Tengah (Hndiwiria, 1990; Sinmandjuntak et al, 2003). Cebakan hidrokarbon sangat berpotensi terkandung dalam sedimen Paleogen dan Neogen di dalam lajur lipatan dan sesar yang dibentuk oleh kegiatan tektonik kulit tipis, di bagian barat Sulawesi, termasuk di perairan Selat Makasar. Sedimen yang sama, berumur Paleogen menghasilkan hidrokarbon di Kalimantan Timur, dan berumur Neogen menghasilkan migas di Cekungan Tomori, bagian Timur Sulawesi.

Batu bara terdapat bagian sisipan di dalam sedimen pinggir benua berumur Eosen dan berupa sisipan lignit di dalam sedimen molasa Neogen di berbagai tempat di Sulawesi. Sumberdaya energi panas bumi berpotensi di eksploitasi dari gunungapi berstadium sulfatara di gunungapi aktif di kawasan ini, seperti Lehandog di Sulawesi Utara. Sumberdaya energi listrik sangat berpotensi diperoleh dari berbagai air terjun dan jeram di berbagai sungai di Sulawesi yang pembentuknya berhubungan erat dengan pengangkatan dan pembentukan rangkaian pegunungan pada Orogenesa neogen.

Busur gunungapi di bagian barat Sulawesi berpotensi menghasilkan cebakan emas, epitermal seperti yang terdapat di Gorontalo dan Minahasa. Busur gunungapi ini, yang sebagian aktif di permukaan laut berpotensi menghasilkan cebakan tembaga jenis Kuroko, seperti yang terdapat di Sankoropi, Tana Troja. Cebakan emas dan perak jenis hidrotermal sangat berpotensi terdapat di berbagai tempat terutama di kawasan kontak intrusi plutonik neogen yang terjadi pada Orogenesa Sulawesi.

Batuan ofiolit, yang tersesar-sungkupkakan, terimbrikasikan dan terangkat pada Orogenesa Sulawesi dan membentuk rangkaian pegunungan yang memanjang dari lengan timur Sulawesi di utara ke lengan tenggara Sulawesi di selatan yang terkenal sebagai jalur ofiolit Sulawesi timur, menghasilkan cebakan nikel lateritik yang sangat besar, yang seperti dieksploitasi di Soroako dan Pamala. Di samping itu jalur ofiolit ini jangan dipercaya berpotensi menghasilkan cebakan primer atau sekunder kromit dan platina.

Orogenesa Sulawesi membentuk rangkaian pegunungan di bagian barat dan timur Sulawesi yang menjadi sumber dan sekaligus pembagi aliran sungai di kedua kawasan tersebut. Air terjun dan jeram yang terdapat di hampir semua sungai besar sangat berpotensi dieksploitasi menjadi sumber listrik tenaga air, seperti Sungai Larona, Malili.

Data mikro seismik dan terjadinya gempa bumi tektonik di berbagai tempat di lajur-lajur sesar pada akhir-akhir ini menunjukkan bahwa struktur-struktur di kawasan ini sebagian atau secara persegmen teraktifkan kembali (McCaffrey et al, 1985; Kartapati et al.).

2.3 Teori Tektonik Lempeng

Teori tektonik lempeng merupakan perkembangan dari konsep pengapungan benua (*continental drift*) dari (Wagener, 1924) dan konsep pemekaran dasar samudera (*sea-floor spreading*) (dari Hess,1962), serta konsep *transform fault* dari Wilson (1965) (Rusydi, 1998).

Teori tektonik lempeng membagi bagian bumi menjadi dua lapisan. Lapisan paling luar disebut lapisan litosfer, bersifat dingin dan kaku (*rigid*). Di bawah

litosfer ini ada lapisan astenosfer yang panas dan mudah mengalami perubahan bentuk meskipun tidak cair, dan dapat mengalir di bawah pengaruh tegangan. Lapisan litosfer ini seolah-olah “hanyut” diatas astenosfer, sehingga terjadi gerakan saling meregang dan gerakan saling menekan. Akibat pergerakan lempeng ini maka di sekitar perbatasan lempeng terjadi akumulasi energi. Jika tidak bisa ditahan energi itu akan terlepas yang menyebabkan patahan atau deformasi pada lapisan kerak bumi dan terjadilah gempa tektonik (Afnimar, 2009).

Lempeng tektonik terbentuk oleh kerak benua (*continental crust*) ataupun kerak samudra (*oceanic crust*), dan lapisan batuan teratas dari mantel bumi (*earth's mantle*). Kepadatan material pada kerak samudera lebih tinggi dibanding kepadatan pada kerak benua. Demikian pula, elemen-elemen zat pada kerak samudera (*mafik*) lebih berat dibanding elemen-elemen pada kerak benua (*felsik*). Karena suhu dan tekanan di lapisan astmosfer yang sangat tinggi, maka batubatuan di lapisan ini bergerak mengalir seperti cairan (*fluid*). Litosfer terpecah ke dalam beberapa lempeng tektonik yang saling bersinggungan satu dengan lainnya (Baxter, 2000).

2.3.1 Batas Pertemuan Lempeng

Tipe pertemuan lempeng tektonik adalah (Atmojo, 2009):

1. Divergen
 - a. Pertemuan lempeng tektonik yang saling menjauh.
 - b. Pada daerah ini terbentuk lempeng benua baru ditandai dengan adanya palung dasar laut.

c. Proses pergerakan semacam ini disebut sebagai *sea floor spreading*.



Gambar 2.1 Pertemuan lempeng transform (Atmojo, 2009).

2. Konvergen

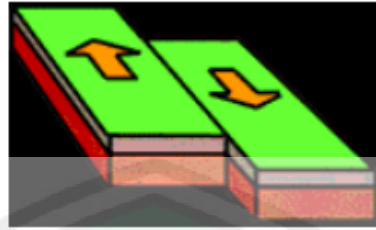
- a. Pertemuan lempeng tektonik yang bertumbukan.
- b. Salah satu lempeng yang densitasnya lebih besar akan menyusup di bawah lempeng lain yang densitasnya lebih ringan dan membentuk zona subduksi .



Gambar 2.2 lempeng tektonik konvergen (Atmojo, 2009).

3. Transform

Pertemuan lempeng tektonik yang bergerak secara lateral, dan saling melewati, sehingga tidak terbentuk lapisan baru.



Gambar 2.3 lempeng tektonik transform (Atmojo, 2009)

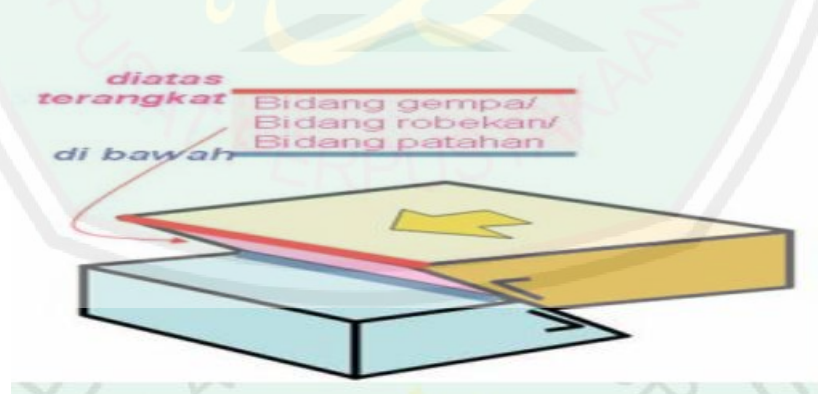
2.3.2 Akibat Pergeseran Lempeng Tektonik

Pergerakan lempeng kerak bumi ada 3 macam yaitu pergerakan yang saling mendekati, saling menjauh dan berpapasan. Pergerakan lempeng saling mendekati akan menyebabkan tumbukan dimana salah satu dari lempeng akan menujam ke bawah yang lain. Daerah penujaman membentuk suatu palung yang dalam, yang biasanya merupakan jalur patahan yang kuat. Di belakang jalur penujaman akan terbentuk rangkaian kegiatan magmatik dan gunung api serta berbagai cekungan pengendapan. Salah satunya terjadi di Indonesia, pertemuan antara lempeng Indo-Australia dan lempeng Eurasia menghasilkan jalur penunjaman di selatan Pulau Jawa dan jalur gunung api Sumatera, Jawa dan Nusa Tenggara dan berbagai cekungan seperti cekungan Sumatera Utara, Sumatera Tengah, Sumatera Selatan dan cekungan Jawa Utara. Pergerakan lempeng saling menjauh akan menyebabkan penipisan dan peregangan kerak bumi dan akhirnya terjadi pengeluaran material baru dari mantel membentuk jalur magnetik atau gunung api (Agus, 2009).

2.4 Konsep Umum Gempa Bumi

Menurut Hunt (2004), gempa bumi merupakan guncangan pada permukaan bumi yang dihasilkan dari gelombang seismik akibat pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam bumi (Supartoyo dan Surasono, 2008: 6). Menurut Edwiza (2008) gempabumi merupakan salah satu fenomena fisis yang terjadi sebagai akibat dari pergerakan lempeng-lempeng bumi ataupun proses vulkanik. Gempa bumi sering menyebabkan kerusakan-kerusakan pada daerah ataupun disekitar tempat terjadinya. Gempa bumi terjadi karena gesekan dan tumbukan antara lempeng-lempeng tektonik yang berada jauh di bawah permukaan bumi. Pergeseran ini mengeluarkan energi yang luar biasa besar dan menimbulkan guncangan di permukaan (Dir, 2007).

Dua lempeng yang saling berbenturan dapat menimbulkan gempa tektonik. Mekanisme gempa bumi dapat dijelaskan di bawah ini (Reid, 1982):



Gambar 2.4 Mekanisme gempa bumi (Reid, 1982).

Mekanisme gempa bumi dikontrol oleh pola penjalaran gelombang seismik di dalam bumi. Pola mekanisme ini tergantung pada pola medium penjalaran atau keadaan struktur kulit bumi serta distribusi gaya atau stress yang terjadi. Dalam

menjelaskan gelombang seismik, asumsi dasar yang dipakai dalam memandang bumi yakni bumi dianggap sebagai media elastik sempurna yang terdiri dari berbagai lapisan dan semua lapisan bumi merupakan media *homogen isotropik* dimana diskontinuitas tahanan jenis hanya terdapat pada batas udara dan bumi.

2.5 Gelombang Seismik

Gelombang merupakan suatu usikan yang merambat melalui suatu medium akibat suatu sumber getar. Sumber getar gelombang yang terjadi akan menimbulkan tekanan sehingga mengakibatkan terjadinya tegangan, kemudian menggerakkan partikel-partikel di sekitarnya (Sugiantoro, 1989).

Gelombang seismik merupakan gelombang yang merambat melalui bumi. Perambatan gelombang ini bergantung pada sifat elastisitas batuan. Gelombang seismik dapat ditimbulkan dengan dua metode yaitu metode aktif dan metode pasif. Metode aktif adalah metode penimbulan gelombang seismik secara aktif atau disengaja menggunakan gangguan yang dibuat oleh manusia, biasanya digunakan untuk eksplorasi. Metode pasif adalah gangguan yang muncul terjadi secara alamiah, contohnya gempa. Gelombang seismik termasuk dalam gelombang elastik karena medium yang dilalui yaitu bumi bersifat elastik. Oleh karena itu sifat penjalaran gelombang seismik bergantung pada elastisitas batuan yang dilewatinya. Teori lempeng tektonik telah menjelaskan bagaimana pergerakan dari lempeng bumi. Pergerakan lempeng bumi menyebabkan batuan terdeformasi atau berubah bentuk dan ukuran karena adanya pergerakan antar lempeng. Deformasi akibat pergerakan lempeng ini berupa tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) (Susilawati, 2008).

2.5.1 Jenis Gelombang Seismik

Gelombang seismik ada yang merambat melalui interior bumi disebut sebagai *bodywave*, dan ada juga yang merambat melalui permukaan bumi yang disebut *surface wave*. Sumber gelombang seismik ada dua yaitu alami dan buatan. Sumber alami terjadi karena adanya gempa tektonik, gempa vulkanik dan runtuh/ longsoran, sedangkan buatan menggunakan gangguan yang disengaja.

- 1) Gelombang badan adalah gelombang yang menjalar dalam media elastik dan arah perambatannya keseluruhan bagian di dalam bumi. Berdasarkan gerak partikel pada media dan arah penjarannya gelombang dapat dibedakan menjadi gelombang P dan gelombang S.
 - a) Gelombang P disebut dengan gelombang kompresi/gelombang longitudinal. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat paling besar dibandingkan dengan gelombang seismik yang lain, dapat merambat melalui medium padat, cair dan gas. Persamaan dari kecepatan gelombang P adalah sebagai berikut (Elnashai and Sarno. 2008):

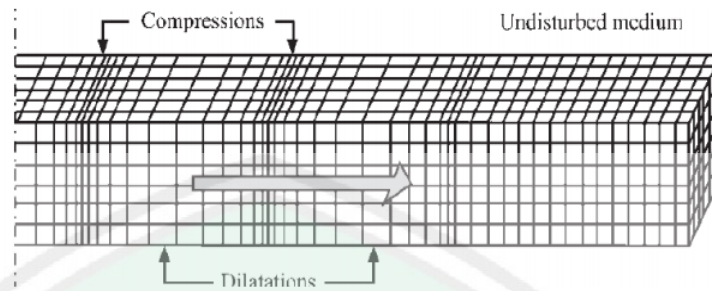
$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

dimana:

λ = konstanta lame

μ = riqiditas

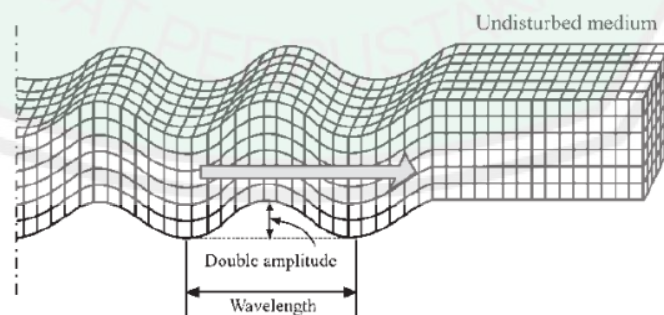
ρ = densitas



Gambar 2.5 Gelombang P (Elnashai and Sarno. 2008)

- b) Gelombang S disebut juga gelombang *shear*/ gelombang transversal. Gelombang ini memiliki cepat rambat yang lebih lambat bila dibandingkan dengan gelombang P dan hanya dapat merambat pada medium padat saja. Gelombang S tegak lurus terhadap arah rambatnya. Persamaan dari kecepatan Gelombang S adalah sebagai berikut(Elnashai and Sarno. 2008) :

$$V_S = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$



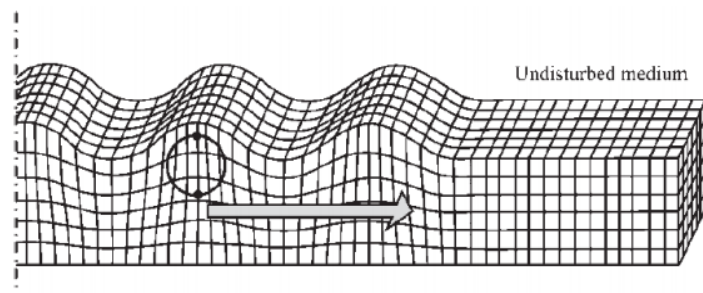
Gambar 2.6 Gelombang S (Elnashai and Sarno. 2008)

2) Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan salah satu gelombang seismik selain gelombang badan. Gelombang ini ada pada batas permukaan medium. Berdasarkan pada sifat gerakan partikel media elastik, gelombang permukaan merupakan gelombang yang kompleks dengan frekuensi yang rendah dan amplitudo yang besar, yang menjalar akibat adanya efek *free surface* dimana terdapat perbedaan sifat elastik (Susilawati, 2008). Jenis dari gelombang permukaan ada dua yaitu gelombang Reyleigh dan gelombang Love.

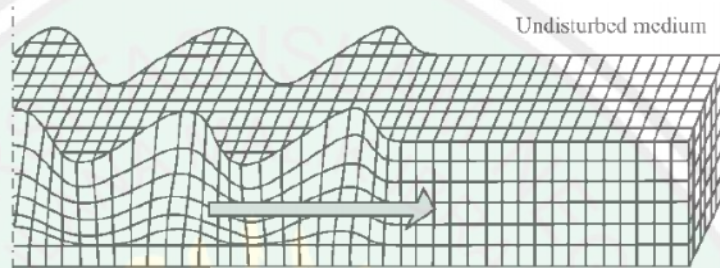
- a. Gelombang Reyleigh merupakan gelombang permukaan yang Orbit gerakannya elips tegak lurus dengan permukaan dan arah penjarannya. Gelombang jenis ini adalah gelombang permukaan yang terjadi akibat adanya interferensi antara gelombang tekan dengan gelombang geser secara konstruktif. Persamaan dari kecepatan gelombang Reyleigh adalah sebagai berikut:

$$V_R = 0.92\sqrt{V_s} \quad (2.3)$$



Gambar 2.7 Gelombang Reyleigh (Elnashai and Sarno. 2008)

- b. Gelombang Love merupakan gelombang permukaan yang menjalar dalam bentuk gelombang transversal yang merupakan gelombang S horizontal yang penjarannya paralel dengan permukaannya (Gadallah and Fisher, 2009).



Gambar 2.8 Gelombang Love (Elnashai and Sarno. 2008)

2.6 Jenis Gempa Bumi

2.6.1 Gempa Bumi Berdasarkan Faktor Penyebabnya yaitu:

a. Gempa Tektonik

Gempa bumi tektonik merupakan gempa bumi yang terjadi karena adanya gejala tektonik alam, seperti adanya pergeseran lempeng benua. Lempeng tektonik merupakan bagian litosfer yang padat dan terapung di atas astenosfer.

Menurut Mogi (1967), pola umum terjadinya gempa bumi dapat dibedakan menjadi 3, yaitu:

Tipe 1: Pada tipe ini gempa bumi terjadi tanpa didahului gempa permulaan, tetapi diikuti dengan banyaknya gempa susulan.

Tipe 2: Gempa bumi yang didahului gempa pendahuluan kemudian di lanjutkan dengan gempa susulan yang cukup banyak.

Tipe 3: Gempa bumi dimana tidak ada gempa bumi utama. Pada gempa bumi tipe ini frekuensi akan naik ketika terjadi gempa dan distribusi magnitudo gempa-gempunya relatif seragam.

b. Gempa Bumi Vulkanik

Gempa bumi vulkanik merupakan gempa bumi yang terjadi akibat adanya aktivitas gempa yang biasa terjadi sebelum gunung meletus. Apabila keaktifannya tinggi akan menyebabkan timbulnya ledakan yang akan menimbulkan terjadinya gempa bumi dan gempa bumi tersebut hanya terasa di sekitar gunung api tersebut.

c. Gempa Bumi Buatan

Gempa bumi yang terjadi akibat aktivitas manusia seperti peledakan dinamit, nuklir atau paluyung dipukul ke permukaan bumi.

d. Gempa Bumi Runtuhan

Gempa bumi runtuhan biasanya terjadi di daerah kapur atau daerah pertambangan, jarang terjadi dan bersifat lokal.

2.6.2 Gempa Bumi Berdasarkan Kekuatannya

Gempa bumi berdasarkan kekuatannya dibedakan menjadi (Subardjo, 2004):

- a. Gempa bumi yang sangat besar dengan magnitudo 8 SR.
- b. Gempa bumi besar dengan magnitudo antara 7-8 SR.
- c. Gempa bumi merusak dengan magnitudo antara 5-6 SR.
- d. Gempa bumi sedang dengan magnitudo antara 4-5 SR.
- e. Gempa bumi kecil dengan magnitudo antara 3-4 SR.

- f. Gempa bumi mikro dengan magnitudo antara 1-3 SR.
- g. Gempa bumi ultra mikro dengan magnitudo yang lebih kurang dari 1 SR.

2.6.3 Gempa Bumi berdasarkan kedalaman hiposentrum

a. Gempa bumi dalam

Gempa bumi dalam adalah gempa bumi yang hiposentrumnya lebih dari 300 km di bawah permukaan bumi. Gempa bumi pada umumnya tidak terlalu bahaya.

b. Gempa bumi menengah

Gempa bumi menengah adalah gempa bumi yang hiposentrumnya berada kurang dari 60 km dari permukaan bumi. Gempa bumi ini biasanya menimbulkan kerusakan ringan.

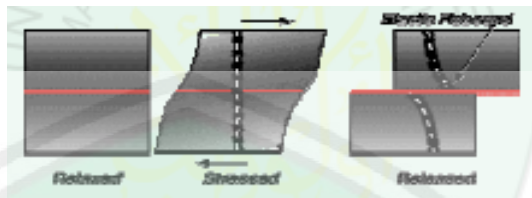
c. Gempa bumi dangkal

Gempa bumi dangkal adalah gempa bumi yang hiposentrumnya kurang dari 60 km dari permukaan bumi. Gempa bumi ini biasanya menimbulkan kerusakan besar.

2.7 Teori elastisitas pegas (*Elastic Rebound Theory*)

Teori elastisitas pegas merupakan teori yang menjelaskan bagaimana umumnya gempa bumi terjadi yang dikemukakan oleh seorang seismologi Amerika, Reid (K.E Bullen, 1995). Menurut teori ini gempa bumi terjadi pada daerah atau area yang mengalami deformasi. Energi yang tersimpan dalam deformasi akan terakumulasi sampai daya dukung batuan mencapai batas maksimum, hingga akhirnya menimbulkan rekahan atau patahan.

Secara singkat mekanisme gempa bumi dapat dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 2.9 Mekanisme Gempa Bumi (K.E Bullen, 1995).

Patahan terjadi akibat terlampaunya daya dukung batuan oleh energi stress yang biasanya disebabkan oleh peristiwa konvergensi maupun divergensi pada batuan.

2.8 Sesar (*Fault*)

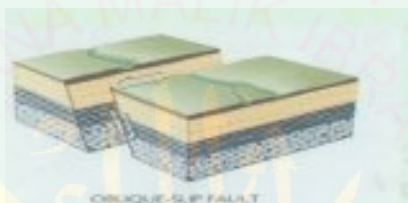
Sesar merupakan suatu patahan yang telah mengalami pergeseran sehingga terjadi perpindahan antara bagian-bagian yang berhadapan dengan arah yang sejajar dengan bidang patahan. Selain itu sesar juga merupakan jalur patahan di alam yang telah mengalami pergeseran dimana arahnya sejajar dengan bidang rekahannya. Sesar dapat dibagi menjadi dua bagian, yaitu *hanging wall* dan *footwal*. Berdasarkan jenis pindahan dan proses terjadinya, sesar dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sukendar, 1983):

- a. Sesar mendatar (*Strike Slip Fault*) merupakan sesar yang arahnya cenderung horizontal. Jenis sesar ini banyak ditemui didaerah perlipatan dimana arahnya dapat memotong poros lipatan secara diagonal dan kadang-kadang tegak lurus.



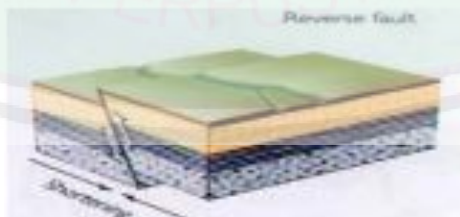
Gambar 2.10 Sesar mendatar (K.E Bullen, 1995).

- b. *Oblique Slip Fault* merupakan suatu sesar yang memotong struktur batuan sekitarnya.



Gambar 2.11 *Oblique Slip Fault* (K.E Bullen, 1995).

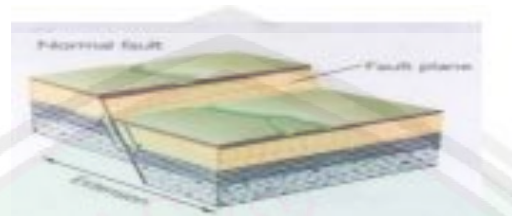
- c. Sesar naik (*Reverse Fault/Thrust*) merupakan gejala dimana *hangingwall* bergeser relatif terhadap *footwall*. Susunan dari poros utamanya seperti gejala perlipatan dan umumnya memiliki sudut kemiringan pada bidang sesar kurang dari 45° .



Gambar 2.12 Sesar naik (K.E Bullen, 1995).

- d. Sesar normal (*Normal Fault*) merupakan gejala dimana *hangingwall* bergeser relatif turun terhadap *footwall*. Poros utamanya cenderung menunjukkan arah

vertikal yang memiliki sudut kemiringan pada bidang sesar sebesar 45° atau lebih besar.



Gambar 2.13 Sesar normal (K.E Bullen, 1995).

Allah Swt (Agus, 2009) menjelaskan bahwa sesungguhnya bumi itu terpatah-patah, yang dalam geologi disebut sebagai patahan (*fault*). Bumi juga terbelah-belah yang disebut sebagai pematang tengah samudra (*Mid Oceanic Ridge*), patahan Transform (*Transform Fault*), Rekahan (*joins*), dan Retakan (*Cracks*). Fakta-fakta bahwa pada dasarnya bahwa planet bumi didominasi oleh patahan-patahan dan belahan. Dijelaskan dalam firman Allah Swt Q.S. Al-thariq ayat 11-13 yang berbunyi:

وَالسَّمَاءِ ذَاتِ الرَّجْعِ ﴿١١﴾ وَالْأَرْضِ ذَاتِ الصَّدْعِ ﴿١٢﴾ إِنَّهُ لَقَوْلُ فَصْلٍ ﴿١٣﴾

“Demi langit yang mengandung hujan, demi bumi yang terbelah (terpatahkan), sesungguhnya Al-quran itu benar-benar yang memisahkan antara yang hal dan yang bathil” (Q.S Al-Thariq: 11-13).

2.9 Percepatan Tanah

Perpindahan materi biasa disebut *displacement*. Jika kita lihat waktu yang diperlukan untuk perpindahan tersebut, maka kita bisa tahu kecepatan materi tersebut. Sedangkan percepatan adalah parameter yang menyatakan perubahan kecepatan mulai dari keadaan diam sampai pada kecepatan tertentu. Pada

bangunan yang berdiri di atas tanah memerlukan kestabilan tanah tersebut agar bangunan tetap stabil. Percepatan gelombang gempa yang sampai di permukaan bumi disebut juga percepatan tanah, merupakan gangguan yang perlu dikaji untuk setiap gempa bumi, kemudian dipilih percepatan tanah maksimum atau *Peak Ground Acceleration* (PGA) untuk dipetakan agar bisa memberikan pengertian tentang efek paling parah yang pernah dialami suatu lokasi.

Parameter getaran gelombang gempa yang dicatat oleh seismograf umumnya adalah simpangan kecepatan atau *velocity* dalam satuan kine (cm/dt). Selain *velocity* tentunya parameter yang lain seperti *displacement* (simpangan dalam satuan mikrometer) dan percepatan (*acceleration* dalam satuan gal atau cm/dt²) juga dapat ditentukan. Parameter percepatan gelombang seismik atau sering disebut percepatan tanah merupakan salah satu parameter yang penting dalam seismologi teknik atau *earthquakes engineering*. Besar kecilnya percepatan tanah tersebut menunjukkan resiko gempabumi yang perlu diperhitungkan sebagai salah satu bagian dalam perencanaan bangunan tahan gempa (Ibrahim, 2004 : 48).

Semakin besar *magnitude* suatu gempa berarti besar energi yang dipancarkan dari sumber gempa tersebut semakin besar, sehingga percepatan permukaan tanah yang timbul juga semakin besar pula. Semakin dalam hiposenter dan semakin jauh jarak episenter maka percepatan permukaan tanah yang timbul menjadi semakin kecil. Faktor lain yang juga menentukan besarnya percepatan permukaan tanah yaitu tingkat kepadatan tanah di tempat tersebut. Jadi, percepatan permukaan tanah yang timbul berbanding lurus dengan magnitudo dan

berbanding terbalik dengan jarak episenter, kedalaman hiposenter, dan kepadatan tanah.

Jarak episenter dapat ditentukan dengan formula empiris, yaitu (Afnimar, 2009: 24):

$$\Delta = \cos^{-1}[\cos\theta_E \cos\theta_S + \sin\theta_E \sin\theta_S \cos(\phi_S - \phi_E)] \quad (2.4)$$

dimana :

Δ = jarak episenter

θ_E = lintang posisi episenter

θ_S = lintang stasiun pengamat

ϕ_E = bujur posisi episenter

ϕ_S = bujur stasiun pengamat

Setelah jarak episenter diketahui, maka dihitung jarak hiposenter dengan persamaan di bawah ini :

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (2.5)$$

Dimana:

R = hiposenter (km),

h = kedalaman (km),

Δ = menyatakan episenter (km).

Setiap gempa yang terjadi akan menimbulkan satu nilai percepatan tanah pada suatu tempat (site). Nilai Percepatan tanah yang akan diperhitungkan pada perencanaan bangunan adalah nilai percepatan tanah maksimum. Meskipun gempabumi yang kuat tidak sering terjadi tetapi tetap sangat membahayakan kehidupan manusia. Salah satu hal yang penting dalam penelitian seismologi

adalah mengetahui kerusakan akibat getaran gempa bumi terhadap bangunan-bangunan di setiap tempat. Hal ini diperlukan untuk menyesuaikan kekuatan bangunan yang akan dibangun di daerah tersebut (Ibrahim, 2004 : 49).

Bangunan-bangunan yang mempunyai kekuatan luar biasa dapat saja dibuat, sehingga bila terjadi gempa bumi yang bagaimanapun kuatnya tidak akan mempunyai tanggapan/reaksi yang tidak sama terhadap kekuatan gempa bumi. Nilai percepatan tanah dapat dihitung langsung dengan seismograf khusus yang disebut *strong motion seismograph* atau *accelerograf*. Namun karena begitu pentingnya nilai percepatan tanah dalam menghitung koefisien seismik untuk bangunan tahan gempa, sedangkan jaringan *accelerograf* tidak lengkap baik dari segi periode waktu maupun tempatnya, maka perhitungan empiris sangat perlu dibuat (Ibrahim, 2004 : 49).

Ada guncangan tanah dengan percepatan tertentu, ada massa bangunan dengan tingkat kekakuan tertentu, telah mengakibatkan bangunan rumah bergerak. Dalam keadaan tidak ada guncangan tanah (statis), bangunan hanya menerima atau memikul beban (gaya) gravitasi yaitu: beratnya sendiri (beban mati), dan berat yang terjadi akibat penggunaannya (beban hidup). Bila ada guncangan tanah (getaran gempa), bangunan mengalami pengaruh getaran gempa yang diteruskan melalui pondasi ke bagian atasnya (Gare, 2010: 88).

Permasalahan utama dari peristiwa-peristiwa gempa adalah: 1) sangat potensial mengakibatkan kerugian yang besar, 2) merupakan kejadian alam yang belum dapat diperhitungkan dan diperkirakan secara akurat baik kapan dan dimana terjadinya serta magnitudanya, dan 3) gempa tidak dapat dicegah. Karena

tidak dapat dicegah dan tidak dapat diperkirakan secara akurat, usaha-usaha yang biasa dilakukan adalah: a) menghindari wilayah dimana terdapat *fault rupture*, kemungkinan tsunami, dan *landslide*, serta b) bangunan sipil harus direncanakan dan dibangun tahan gempa (Irsyam, 2010).

Oleh sebab itu untuk keperluan bangunan tahan gempa harga percepatan tanah dapat dihitung dengan cara pendekatan dari data historis gempabumi. Beberapa formula empiris PGA antara lain metode Donovan, Esteva, Murphy - O'Brein, Gutenberg – Richter, Kanai, Kawasumi dan lain-lain. Formula-formula empiris tersebut ditentukan berdasarkan suatu kasus gempabumi pada suatu tempat tertentu, dengan memperhitungkan karakteristik sumber gempabuminya, kondisi geologi dan geotekniknya. Formula Kanai perhitungan percepatan tanahnya memperhitungkan *site effect* yang direpresentasikan oleh periode dominan tanah di site tersebut.

- a. Model percepatan tanah pada permukaan secara empiris oleh Mc.Guirre R.K (1963) ditulis sebagai berikut (Edwiza, 2008: 76):

$$\alpha = 472.3 \times 10^{0.278 M} \times (R + 25)^{-1.301} \quad (2.6)$$

α = percepatan tanah pada permukaan (gal)

M = magnitudo permukaan (SR)

R = jarak hiposenter (km)

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (2.7)$$

Δ = Jarak episenter (km)

h = kedalaman sumber gempa (km)

- b. Model percepatan tanah rumusan Kawashumi (1950) (Edwiza, 2008: 76):

$$\text{Log } \alpha = M - 5.45 - 0.00084(R - 100) + (\text{Log } 100/R) \times (1/0.4342) \quad (2.7)$$

α = percepatan tanah pada permukaan (gal)

M = magnitudo gelombang permukaan (SR)

R = jarak hiposenter (km)

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (2.8)$$

Δ = Jarak episenter (km)

h = kedalaman sumber gempa (km)

c. Model percepatan tanah maksimum Kanai (Edwiza, 2008: 112):

$$\alpha_g = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{0.61M - (1.66 + \frac{3.6}{R}) \log R + 0.167 - \frac{1.83}{R}} \quad (2.8)$$

d. Model percepatan tanah Patwardhan (Haris, 2012: 53) :

$$\ln \alpha = \ln (363) + 0.587 Ms - 1.05 \ln(D + 0.864 e^{0.463 Ms}) \quad (2.9)$$

e. Model percepatan tanah Esteva (Ibrahim, 2004: 50) :

$$\alpha = \frac{5600 (\exp^{0.5 Ms})}{(R+40)^2} \quad (2.10)$$

f. Rumus percepatan tanah permukaan dari Richter memasukkan nilai intensitas pada tempat dimana dilakukan pengamatan, dapat ditulis sebagai berikut (Edwiza, 2008: 76):

$$\log a = \frac{I}{3} - 0.5 \quad (2.11)$$

$$I_0 = 1.5(Ms - 0.5) \quad (2.12)$$

Dimana :

a_0 = Percepatan tanah permukaan (gal)

I_0 = Intensitas pada sumber (skala MMI)

I = Intensitas pengamatan (skala MMI)

M_s = Magnitudo gelombang permukaan

Untuk mendapatkan data intensitas, berdasarkan *Beca Carter Hollings & Ferner Ltd.* bekerjasama dengan *The Indonesian Counterpart Team* telah meluncurkan “*Seismic Zone for Building Construction in Indonesia*” dimana wilayah Indonesia dibagi ke dalam 6 enam zona tingkat bahaya gempa bumi (Rockhim, 2008):

Tabel 2.1 Pembagian wilayah Indonesia berdasarkan tingkat bahaya gempa bumi

Zona	Percepatan Tanah Maksimum (gal)	Intensitas (MMI)
1	>323.4	>IX
2	245 – 323.4	VIII – IX
3	196 – 245	VII – VIII
4	127 – 196	VI – VII
5	39.2 – 127	V – VI
6	<39.2	V

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian tentang Analisis Percepatan Tanah Maksimum Daerah Sesar Palu Koro dengan metode Mc Guirre R.K dilakukan pada bulan Febuari sampai Maret 2016 di Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

3.2 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian dan penginterpretasian data ini adalah laptop dengan spersifikasi: Asus core I5 4 GB DDR3 memory, 320 GB HDD, Windows 8. Spesifikasi ini cukup menjalankan software *Arcview GIS 3.3*, beseta *Microsoft Excell 2010*.

3.3 Jenis Data

Data diperoleh dari data katalog gempa bumi yang diambil dari ISC dengan periode dari tahun 1985-2015 berdasarkan pembatasan wilayah daerah Sesar Palu dan sekitarnya. Dengan memilih magnitudo ≥ 4 SR dengan kedalaman ≤ 70 km serta dengan batasan wilayah $119.2^0 - 121^0$ Bujur Timur dan $0.61^0 - 2.7^0$ Lintang Selatan.

3.4 Metode Perhitungan dan Pengolahan Data

Perhitungan percepatan tanah maksimum diawali dengan membagi daerah Sesar Palu dengan masing-masing grid $0.15^0 \times 0.15^0$. Langkah-langkah dalam menghitung nilai percepatan tanah maksimum adalah:

- 1) Menyusun data historis gempa bumi pada daerah Sesar Palu dan sekitarnya periode 1985 - 2015 berdasarkan *latitude*, *magnitude*, dan kedalaman dengan batasan wilayah 119.2° - 121° Bujur Timur dan $0.61^{\circ} - 2.7^{\circ}$ Lintang Selatan, diambil data gempa bumi diatas 4 SR.
- 2) Membagi Sesar Palu dan sekitarnya menjadi beberapa grid, masing-masing grid $0.15^{\circ} \times 0.15^{\circ}$ dengan menggunakan Arc View Gis 3.3
- 3) Menghitung jarak episenter dengan rumus :

$$\Delta = \cos^{-1}[\cos\theta_E \cos\theta_S + \sin\theta_E \sin\theta_S \cos(\phi_S - \phi_E)] \quad (3.1)$$

dimana:

Δ = jarak episenter

θ_E = lintang posisi episenter

θ_S = lintang stasiun pengamat

ϕ_E = bujur posisi episenter

ϕ_S = bujur stasiun pengamat

- 4) Menghitung jarak hiposenter dengan menggunakan rumus:

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (3.2)$$

dimana:

R = jarak hiposenter

Δ = jarak episenter

h = kedalaman sumber gempa

- 5) Menghitung harga percepatan tanah maksimum di tiap titik grid pengamatan dengan menggunakan model empiris Mc Guirre, RK sebagai berikut

$$\alpha = \frac{472.3 \times 10^{0.278 Ms}}{(R+25)^{1.301}} \quad (3.3)$$

dimana:

α = percepatan tanah permukaan (gal)

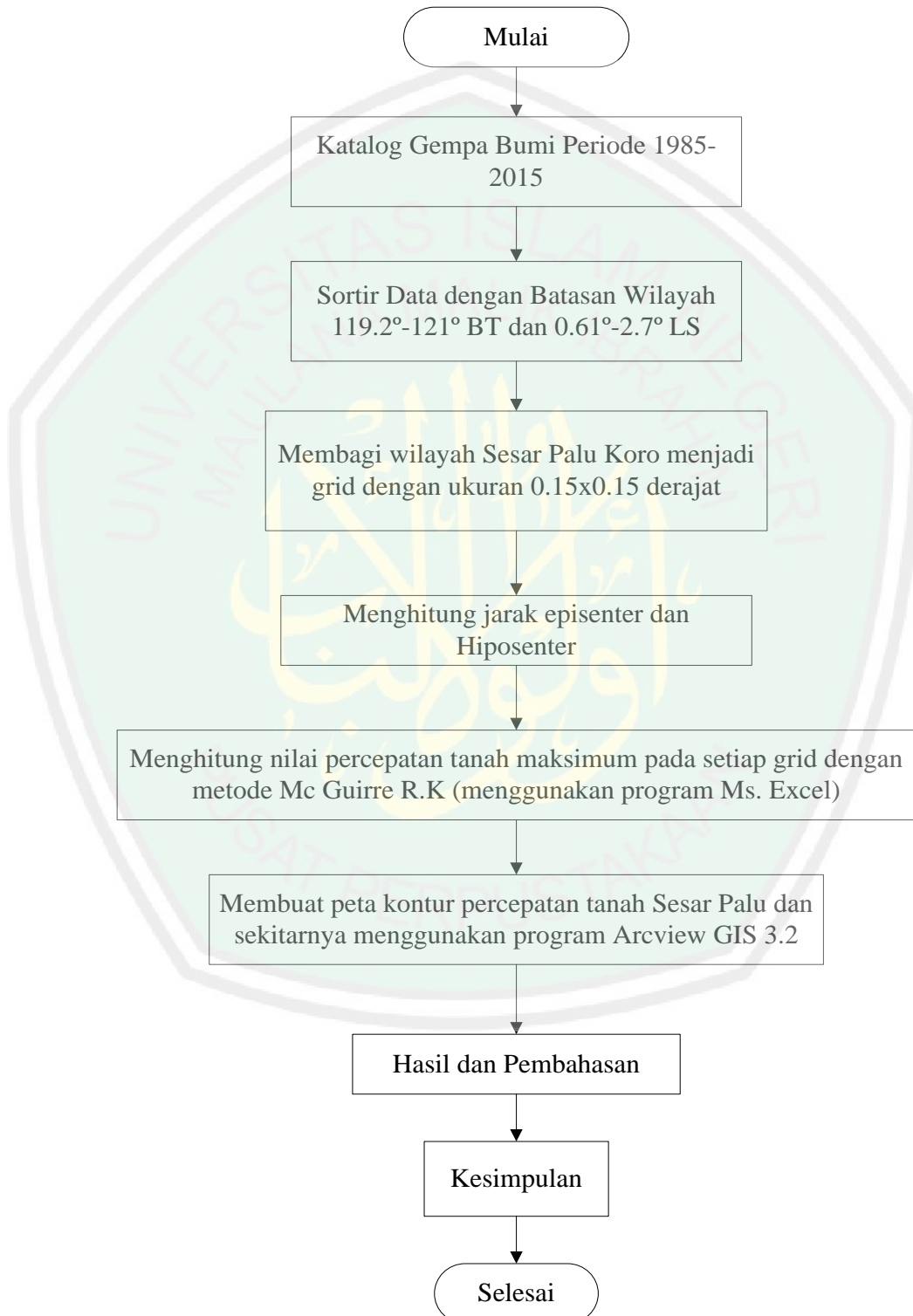
M_s = magnitudo gelombang permukaan

R = jarak hiposenter (km)

- 6) Kemudian pada setiap tempat (titik grid) diambil harga maksimumnya sehingga diperoleh harga percepatan maksimum pada tempat tersebut.
- 7) Membuat peta kontur percepatan tanah maksimum dengan program ArcViewGIS



3.5 Diagram Alir

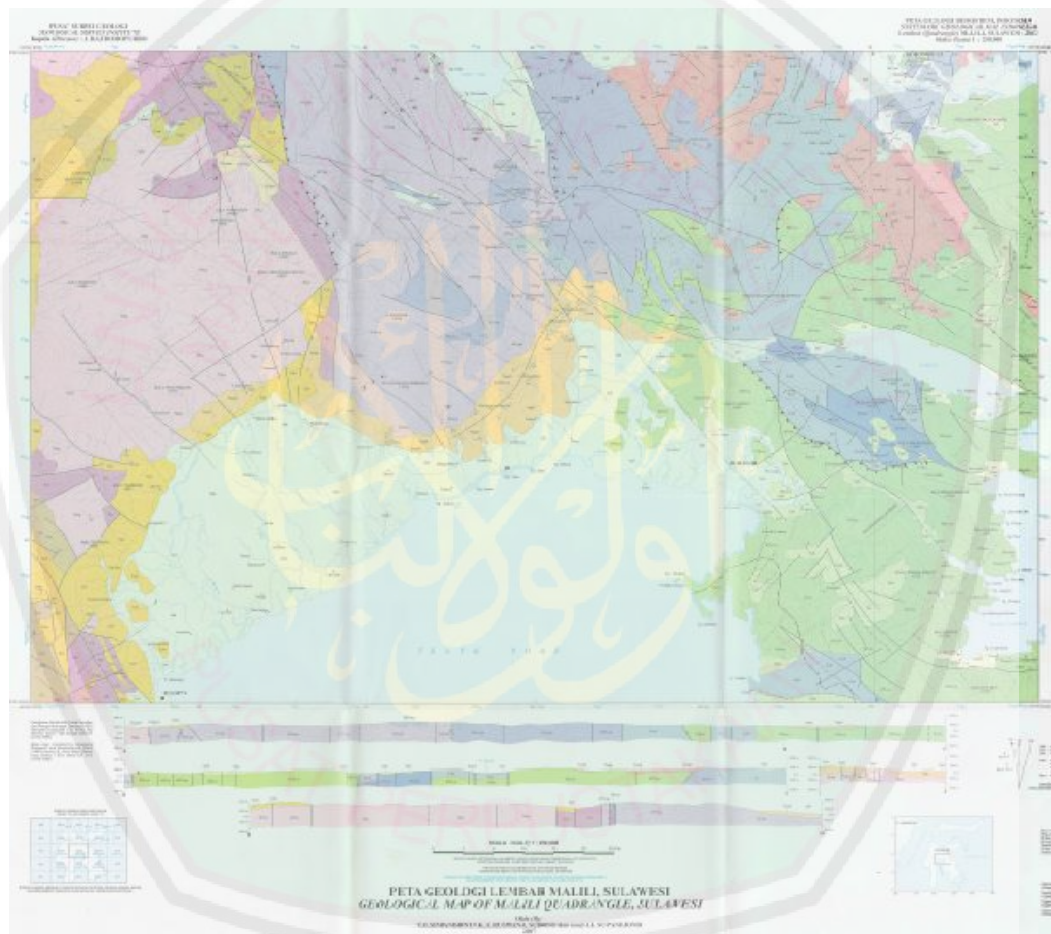


Gambar 3.1 Diagram Alir

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Peta Geologi Sesar Palu

4.1.1 Peta Geologi Lembar Malili



Gambar 4.1 Peta Geologi Lembar Malili

Lembar malili terletak pada kordinat 120° – 121° 30 BT dan 200–300 LS, dan meliputi daerah seluas 2100 km². Lembar ini di utara dibatasi oleh lembar Poso dan di barat dibatasi oleh lembar mamuju. Bagian selatan lembar termasuk kabupaten Luwu, Propinsi Sulawesi Selatan, sedangkan sebelah utara termasuk Kabupaten Poso, Propinsi Sulawesi Tengah.

Secara morfologi daerah ini dibagi menjadi 4 bagian: daerah pengunungan, daerah pebukitan, daerah Kras dan daerah Perdatatan, daerah pengunungan menempati bagian barat dan bagian utara lembar peta, di bagian barat terdapat 2 bagian pengunungan pengunungan tineba dan pegunungan koro ue yang memanjang ke barat laut tenggara di ketinggian 700-3016 m di atas permukaan laut dan dibentuk oleh batuan granit dan malihan. Sedangkan di bagian tenggara terdapat pengunungan verbek dengan ketinggian 800-1300 m di atas permukaan laut dibentuk oleh batuan Ultramafik dan batuan gamping.

Daerah pebukitan menempati bagian tengah dan bagian timur laut lembar peta dengan ketinggian antara 200-700 m di atas permukaan laut dan merupakan pebukitan yang agak landai yang terdapat di antara pegunungan dan daerah pedataran, pebukitan ini dibentuk oleh batuan ultramilk dan batu pasir, puncak bukit di antaranya Bulu Tiruan 630 m, Bulu Tambunana 477 m dan Bulu Bukila 45 m. Sungai-sungai yang bermuara daerah sini akan bermuara pada teluk bone, pola alirannya dendrit.

Daerah kras menempati bagian timur peta laut dengan ketinggian antara 800-1700 m dari permukaan laut dan di bentuk batu gamping daerah ini dicirikan dengan adanya dolina, sinkhole dan sungai bawa permukaan. Puncak yang tinggi didaerah ini di antaranya Bulu wasopute (1768 m) dan pengunungan toroke empenai (1185 m).

Daerah pedatan menempati daerah selatan lembar peta, melampar mulai daerah Palopo, Sabbang, Masamba sampai Bone-Bone, daerah ini mempunyai ketinggian beberapa di atas permukaan Laut dan di bentuk oleh endapan ovium.

Stratigrafi, lembar malili termasuk mendala Sulawesi Timur dan mendala Sulawesi Barat, dengan batas Sesar Palu-Koro yang membujur hampir utara selatan, mendala Sulawesi Timur dapat dibagi menjadi dua jalur, Lajur batuan Malihan dan Lajur batuan ofiolit Sulawesi Timur yang terdiri dari batuan ultra mafik dan batuan sendimen pelagos Mesozoikum.

Mendala Sulawesi Barat dapat dicirikan oleh Lajur gunung api plaeogen dan neogen, intrusi neogen dan sendimen flysh Mesozoikum yang diendapkan di pinggiran benua (Paparannya Sunda).

Mendala Sulawesi Timur batuan tertua adalah batuan ofiolit yang terdiri dari ultramafik termasuk harzburgit, dunit, piroksenit, dan serpentinit, setempat batuan bafit termasuk gabro dan basal. Umurnya belum dapat dipastikan, tetapi diperkirakan sama dengan ofiolit di lengan Timur Sulawesi yang berumur kapur awal Tersier.

Di mendala geologi Sulawesi Barat batuan tertua adalah batuan latimojong yang diduga berumur kapur akhir, batuan ini terdiri dari deret flysh perseingan antara argilit, filit, batuasak dan wake. Pada kala Oliosen terjadi kegiatan gunungapi bawah laut yang menghasilkan lava bantal dan breksi yang bersusunan basa sampai menengah. Batuan itu membentuk batuan Gunungapi Lamasi. Kegiatan ini berlangsung sampai miosen tengah yang sebagian muncul sampai permukaan laut.

Struktur dan tektonika, struktur dan Geologi Lembar Malili memperlihatkan ciri kompleks tubrukan dari pinggiran benua yang aktif. Berdasarkan struktur, himpunan batuan, biostratigrafi dan umur, daerah ini dapat

dibagi menjadi 2 domain yang sangat berbeda, yakni : 1) alohton: ofiolit dan malihan, dan 2) autohton: batuan gunung api dan pluton tersier dan pinggiran Benua Sundaland, serta kelompok molasa Sulawesi. Lembar malili, sebagaimana halnya daerah Sulawesi bagian timur, memperlihatkan struktur yang paling rumit. Hal ini disebabkan oleh pengaruh pergerakan tektonik yang telah berulang kali terjadi di daerah ini.

Struktur penting di daerah ini adalah sesar lipatan, selatan itu terdapat kekar dan perdaunan. Secara umum kelurusan sesar berarah barat laut tenggara. Yang terdapat di daerah ini berupa sesar naik, sesar sungkup, sesar geser dan sesar turun, yang diperkirakan sudah mulai terbentuk sejak Mesozoikum. Beberapa sesar utama tampaknya aktif kembali. Sesar matano dan sesar palu-koro merupakan sesar utama berarah barat laut tenggara, dan menunjukkan gerak mengiri. Diduga kedua sesar itu masih aktif sampai sekarang (Tjia 1973; Ahmad, 1975), keduanya bersatu di bagian barat laut lembar. Diduga pula kedua sesar itu terbentuk sejak Oligosen, dan bersambungan dengan sesar sorong sehingga merupakan satu sistem sesar "transform". Sesar lain yang lebih kecil berupa tingkat pertama dan atau kedua yang terbentuk bersamaan atau setelah sesar utama tersebut. Dengan demikian sesar-sesar ini dapat dinamakan sistem sesar matano-pulo-koro.

Lipatan yang terdapat di daerah ini dapat digolongkan dalam lipatan lemah, lipatan tertutup dan lipatan tumpang tindih. Pada yang pertama kemiringan lapisan landai. Biasanya tidak melebihi 30° yang dapat digolongkan dalam jenis lipatan terbuka. Lipatan ini berkembang dalam batuan yang berumur Miosen

hingga plistosen, biasanya sumbu lipatannya bergelombang dan berarah barat daya –timur laut. Pada yang kedua, baik yang simetris maupun yang tidak kemiringan lapisannya antara 50° dan tegak, ada juga yang terbalik. Lipatan ini biasanya terdapat dalam bantuan sedimen Mesozoikum. Sumbu lipatan pada umumnya berarah utara-selatan, mungkin gelombang ini terbentuk pada kala oligosen atau lebih tua.

Pada zaman kapur kapur di bagian lain dalam cekungan laut dalam di sebelah barat terjadi pemekaran dasar samudera, dan membentuk kerak samudera yang sebagian menjadi Lajur ofiolit sulawesi timur.

Pada zaman kapur akhir, lempeng samudera yang bergerak ke arah barat menunjam dibawah pinggirin benua dan/atau di daerah busur gunung api. Jalur penunjaman ini sekarang ditandai oleh batuan bancuh di Wasuponda (Simandjuntak, 1980). Di cekungan rumpang parit busur di pinggirin yang aktif di sebelah barat, diendapkan batuan sedimen jenis “flysch”, Formasi Latimojong pada kapur atas. Pengendapan batuan ini disusul oleh formasi toraja pada kala eosen dan kegiatan gunung api bawah laut pada kala oligosen (vulkanik lamasi) yang berlangsung terus hingga miosen (vulkanik rampi dan tineba). Satuan batuan ini sekarang merupakan bagian dari mandala sulawesi barat.

Pada zaman paleogen pengendapan batuan karbonat (formasi larca) berlangsung dalam busur laut yang semakin mendangkal, yang disusul pengendapan formasi takaluku pada kala miosen tengah.

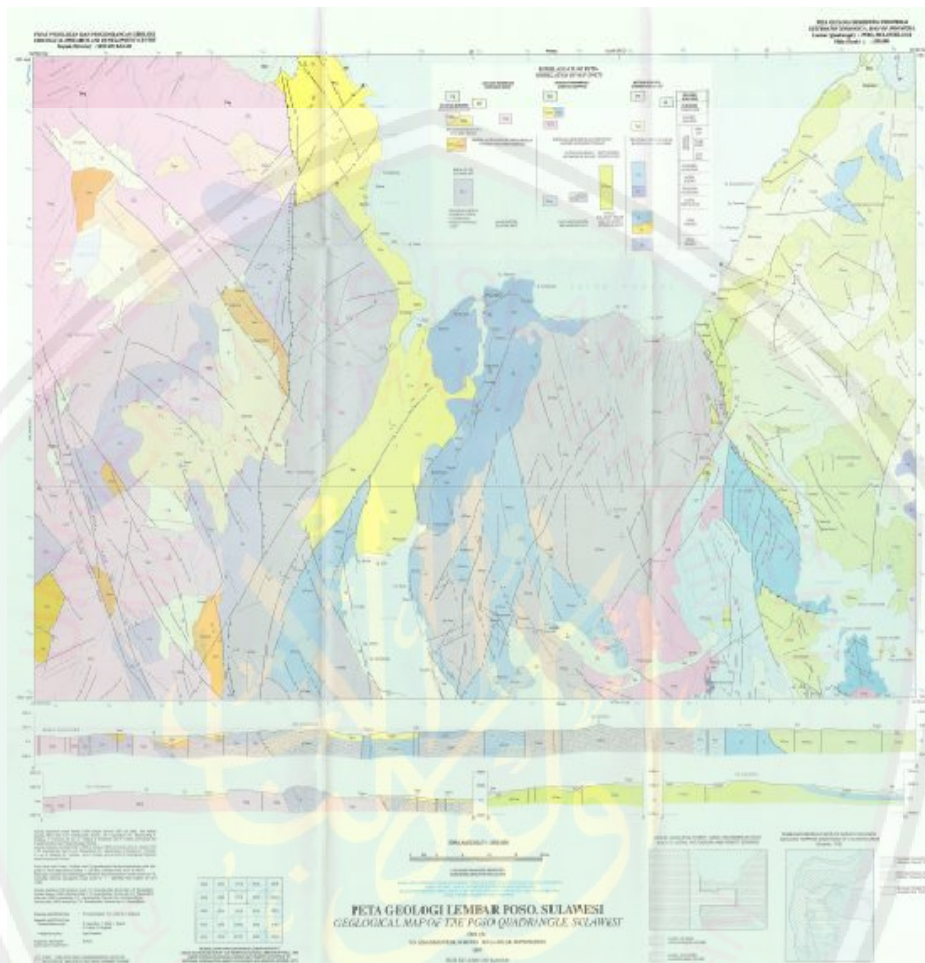
Pada kala oligosen, Sesar sorong yang menerus ke sesar matano dan palukoro mulai aktif dalam bentuk sesar “transcurrent”. Akibatnya minikontinen

Banggai-Sula bergerak ke arah barat dan memisahkan diri dari benua Australia. Pada kala miosen tengah bagian timur kerak samudera mendala Sulawesi Timur menumpang tindih (*obducted*) platform banggai-sula yang bergerak ke arah barat. Dalam pada itu, di bagian barat lajur penunjaman pada busur luar tersesar sungkupkan diatas rumpang parit busur dan busur gunung api, dan mengakibatkan ketiga mendala geologi tersebut saling berhimpitan.

Pada akhir miosen hingga pliosen, batuan klastika halus sampai kasar kelompok molasa Sulawesi (formasi tomata, bone-bone) diendapkan dalam lingkungan laut dangkal dan terbuka dan sebagian berupa endapan darat yang bersamaan dengan intrusi yang bersifat granit di bagian barat.

Pada kala pilo-plistosen keseluruhan daerah mengalami deformasi. Intrusi yang bersifat granit menerus di mendala Sulawesi Barat, yang dibarengi oleh pelipatan dan penyesaran bongkah yang mengakibatkan terbentuknya berbagai cekungan kecil, dangkal dan sebagian tertutup. Di dalamnya diendapkan batuan klasika kasar dan keseluruhan daerah terangkat. Pada bagian tertentu, endapan aluvium, danau, sungai, dan pantai berlangsung terus hingga sekarang.

4.1.2 Peta Geologi Lembar Poso



Gambar 4.2 Peta Geologi Poso

Pendahuluan Poso, pemetaan geologi bersistem Lembar poso dibatasi oleh kordinat 120° - $121^{\circ}30$ BT dan 1° - 2° LS, luasnya sekitar 22.500 Km². Di utara lembar ini dibatasi oleh lembar palu dan teluk tomini, di selatan dibatasi oleh lembar malili dan di barat dibatasi oleh Lembar Pasang kayu. Sebagian besar daerah ini masuk kabupaten poso, dan sebagian kecil masuk Kabupaten Donggala yang seluruhnya masuk propinsi Sulawesi Tengah.

Secara morfologi, Lembar Poso dapat dibagi menjadi 5 satuan; dataran rendah, dataran tinggi, pebukitan, pegunungan dan daerah kres.

Dataran rendah terdapat di dekat muara Sungai Puna, Sungai Poso, Sungai Tomori, dan sekitar Tomata. Satuan ini umumnya daerah pemukiman dan pertanian, kecuali sekitar Morowali yang merupakan cagar alam.

Dataran tinggi terdapat terpisah-pisah dibagian barat, tengah dan timur lembar. Di bagian barat satuan ini terdapat di Gintu, Doda, Wuasa, Sadoa, Palopo, Kulani dan Danau Lindu. Di bagian tengah, merupakan dataran pada jalur tepi barat dan utara Danau Poso. Berongak lebih dari 600 m di atas muka laut.

Dataran Pegunungan menempati bagian terbesar, di barat meliputi deret Pegunungan Tokolekeju, Tineba, dan Tokodoro, Pegunungan Tokokaju memanjang utara selatan dari pontana sampai Gintu, berdongkrak antara 1000 – 2356m di atas muka laut. Pegunungan Tokodoro memanjang utara selatan, dari Tokodo sampai kamba berdongak antara 1000-2500 m.

Daerah Kras menempati bagian tengah dan bagian timur Lembar. Di bagian Tengah, memanjang Utara Selatan dari dekat Poso sampai Ratadana dan dari dekat malino sampai dekat Betemele, di bagian timur morfologi Kras berkembang secara setempat. Daerah ini dicirikan permukaan yang kasar, berbusut dan berlereng tajam dengan dolina dan lubang tengah.

Stratigrafi, berdasarkan himpunan batuan, struktur dan biostratigrafi, secara regional geologi Lembar poso termasuk Mendala Geologi Sulawesi Barat, Mendala Geologi Sulawesi Timur dan Mendala Batur Banga Sula. Ketiga mendala tersebut bersentuhan satu dengan yang lain. Mendala Sulawesi Barat dicirikan dengan gunung api dan granit tersier yang menerobos sedimen flysch Mesozoikum, dari runtuhannya sedimen pinggir benua Sundaland.

Mendala Sulawesi Timur dicirikan dengan himpunan batuan malihan, ultrafik, dan batuan sedimen megalos Mesozoikum sedangkan batuan sedimen pingiran benua klastika, sedimen karbonat Mesozoikum dan tersier awal.

Di Mendala Sulawesi Barat batuan tertua adalah Formasi Latimojong (Kls), yang tersusun oleh endapan flysch terdiri dari perselingan serpih, filit, batu basak, batupasirwake dengan sisipan rijang radiolaria, breksi dan lava terkersikan, serta kuarsit. Rijang dan serpih mengandung radiolara yang menunjukkan umur kapur akhir.

Di Mendala Sulawesi Timur, batuan tertua adalah ofiolit, yang terdiri dari harzburgit, dunit, piroksanit, lherzolit, serpentinit, gabro diabas dan diorit, umurnya diperkirakan tidak lebih tua dari kapur, tepatnya pada Meosen Tengah. Di bagian barat terdapat Lajur mertamorf Sulawesi Tengah yang terdiri dari berbagai jenis sekis hijau, diantaranya sekis horenlenda, sekis mika dan sekis glaukufan, serta genes, kuarfit dan batu gamping. Umur batuan ini diduga lebih tua dari jura akhir.

Di Mendala Batur Bangai-Sula, batuan tertua adalah Formasi Tolaka berumur terias, yang terdiri dari batu gamping, napal bersisipan serpih, batu pasir dan batu pasir konglomerat.

Satuan ini secara tak selaras tertindih oleh Formasi Tetambahu yang berumur juta atas terdiri perselingan batu gamping, napal dan batu pasir dengan sisipan kalsilutrit rijangan. Batuan Mesozoikum tersebut tertindih tidak selaras oleh batuan karbonat yang berumur Eosen-Oligen.

Struktur dan tektonika, geologi lembar Poso memperlihatkan bahwa daerah ini merupakan tempat persentukan mandala geologi. Batuan ultramik dan mafik dianggap berasal dari kerak samudra. Batuan ini bersama sedimen pelagos Mesozoikum dikelompokkan menjadi lajur ofiolit Sukawesi Timur. Lajur ini bersama lajur metamorfik Sulawesi Tengah membentuk mendala Sulawesi Timur. Mendala Geologi Sulawesi Barat terdiri dari pinggiran benua dan bosur Gunungapi Sundaland, yang diwakili oleh latimojong dan batuan alas dan batuan gunungapi dan plutonik tersier, Batur Banga Sula Diwakili Oleh sendimen pinggiran benua berumur trias hingga neogen.

Struktur dan geologi daerah ini memperlihatkan ciri kompleks tubrukan sebuah benua yang aktif, berdasarkan struktur, runtuhuan batuan, biostrtigrifi dan umur, daerah ini dibagi menjadi 2 dominan yakni 1, Alohtoh termasuk bagian dari Banggai-Sula, Lajur ofiolit dan metamorfik, 2, Autohton termasuk mendala Sulawesi Barat dan kelompok Molasa Sulawesi. Batuan alohton sudah mengalami beberapa kali pencengaan sebelum mengalami penempatan sekarang.

Struktur penting diantaranya, sesar, lipatan, kekar dan perdaunan, jenis sesar yang dikenali adalah sesar sungkup, sesar sungkup dan sesar jurus mendatar. Sistem Sesar Palu koro merupakan sesar utama ber arah barat laut tenggara dan menunjukkan mendatar mengiri. Diduga sesar ini masih hidup sampai sekarang, sesar ini bersatu dengan Sesar Matano di lembar Malili dan diduga sejak mulai Oligosen, serta bersambung pula dengan sesar sorong di Irian jaya sehingga merupakan satu sistem sesar pergantian.

Kode pada peta.

Q1 = Endapan Danau: lempung, Lanau, pasir dan krikil.

Qal = Aluvium: lumpur, lempung lanau pasir, kerikil dan krakal. Berupa endapan sungai, rawa dan pantai.

Kls = Formasi Latimojong: sedimen ragam flysch, terdiri dari perselingan dari batu basak, filik, batu pasir wake, kuarsit dan batu gamping, pada umumnya termailhkan lemah.

Tmrt = Tufa rampi: Batu pasir tufaan, tufa abu dan tufa hablur.

Tmtv = Batuan Gunung Api Tineba: Lava andesit-horenblenda, basal latit kuarsa dan breksi.

Tpkg = Granit Tambuno: granit dan granodiorit.

Qtpt = Genes Toro: Genes granit, genes granit biotit dan granit amfibol.

Kml = Formasi Matano: Perselingan batugamping kalsilutit dan rijang, bersisipan batu lempeng napalan dan argilit.

Tpll = Formasi Lerea: batu gamping kalsilulit bersisipan napal.

Mtosu = Batuan Ultramafik: Harzbergit, lherzolit, dunit, piroksenit, websterit dan serpentinit.

Mtosm = Batuan Mafik: Gabro, diabas dan mikrodiort.

MTpm = Komplek Pompangeo: Berbagai jenis sekis, genes, meta kuarsit, filit, batusabak, grafit, serprntinit, badal malih dan gbro malih; setempat terdapat breksi dan milonit.

MTpmm = Batu Gamping Malih: Pualam, batugamping terdaunkan dan batugamping hablur.

TRtl = Formasi Tokala: Batugamping, napal, batupasir dan argilit.

Jns = Formasi Nanaka: Perselingan konglomerat, batupasir, dengan sisipan serpih dan lensa batu bara.

Jtl = Formasi Tetembahu: Perselingan batugamping, napal dan batupasir dengan sisipan gamping rijangan.

Toes = Formasi Salodik: Batur batugamping, terdiri dari kalkarenit, kalsirudit dan koral, dengan sisipan napaal.

Tmpb = Formasi Bongka: Konglomerat, batupasir, serpih, napal, batugamping, tufa dan lignit.

Tmpt = Formasi Tomata: Batupasir, batulempeng, serpih tufa dan konglomerat, dengan sisipan lignit.

Tppl = Formasi Poso: Batugamping, napal, batupasir tufaan dan konglomerat.

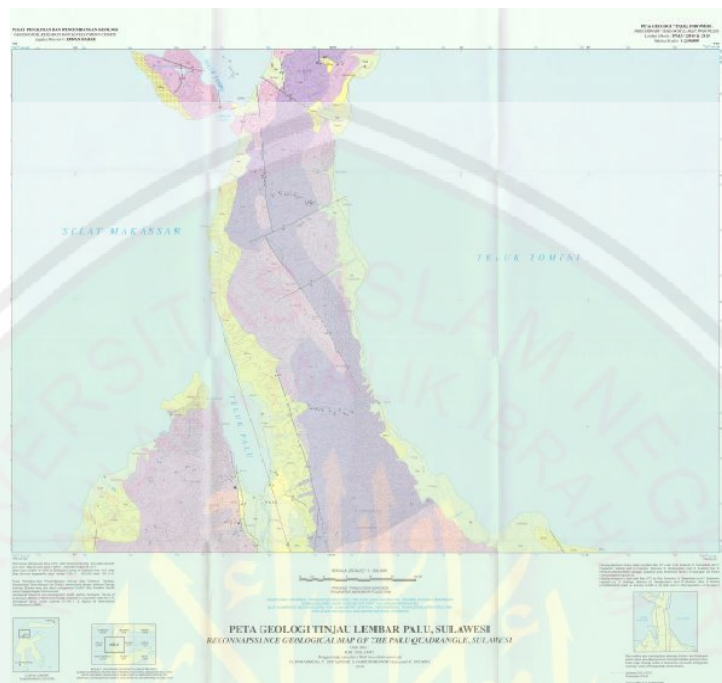
Tpps = Formasi Puna: Konglomerat, batupasir, lanau, serpih, batu lempung gamping dan batu gamping.

QTpns = Formasi Napu: Konglomerat, batupasir, batulempung dan gambut.

Qpll = Formasi Luwuk: Batugamping, terumbu dengan sisipan napal.

Qpl = Batu Gamping Terumbu: Batugamping koral.

4.1.3 Peta Geologi Lembar Palu



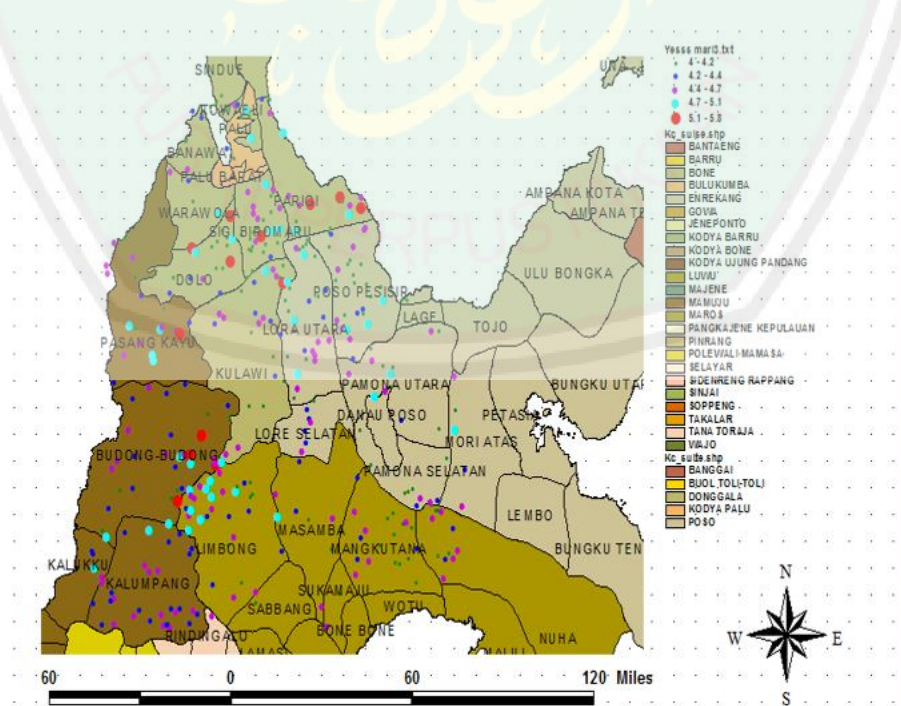
Gambar 4.3 Peta Geologi Lembar Palu

Secara fisiografi daerah Palu terdiri dari Pematang Timur dan Pematang Barat kedua-duanya berada utara dan selatan dan terpisahkan oleh lembah Palu. Pematang Barat didekat Palu hingga lebih 2000 m tingginya, tetapi di Donggala menurun hingga muka laut. Di Pematang Timur tinggi puncak mulai 400 m sampai 1900 m dan menghubungkan dengan Sulawesi Tengah dan Lengan Utara. Struktur daerah ini di dominasi oleh lajur Sesar Palu yang berada di utara barat laut. Bentuknya yang sekarang ialah menyerupai terban yang dibatasi oleh Sesar-sesar hidup. Diantaranya yang bermata air panas di sepanjang kenampakannya pada permukaan. Sesar-sesar dan kelurusan dan lainnya yang setengah sejajar dengan arah Lajur Palu terdapat di Pematang timur. Banyak Sesar dan kelurusan lainnya yang kurang penting lebih kurang tegak lurus pada arah ini, sebagaimna

terlihat. Sesar naik berkemiringan ketimur dalam kompleks batuan metamoft dan dalam formasi tinumbu menunjukkan akan sifat pemampatan pada beberapa diantaranya Sesar yang lebih tua. Sesar termuda yang tercatat pada tahun 1968 di dekat tambuh, timbul setelah ada gempa bumi, berubah sesar normal ke arah barat laut yang permukaan tanahnya turun 5 meter. Pada bagian yang menurun, daerah pantai seluas 5 km² masuk kedalam laut. Batuan tertua daerah ini adalah metamoft dan tersingkap hanya pada Pematang timur yang merupakan intinya kompleks itu terdiri dari amfibiolis, sekis, genis dan pualam. Sekis terdapat pada sisi barat sedangkan pualam terdapat di sisi timur.

4.2 Data Dan Analisa

4.2.1 Data Dan Analisa Episenter

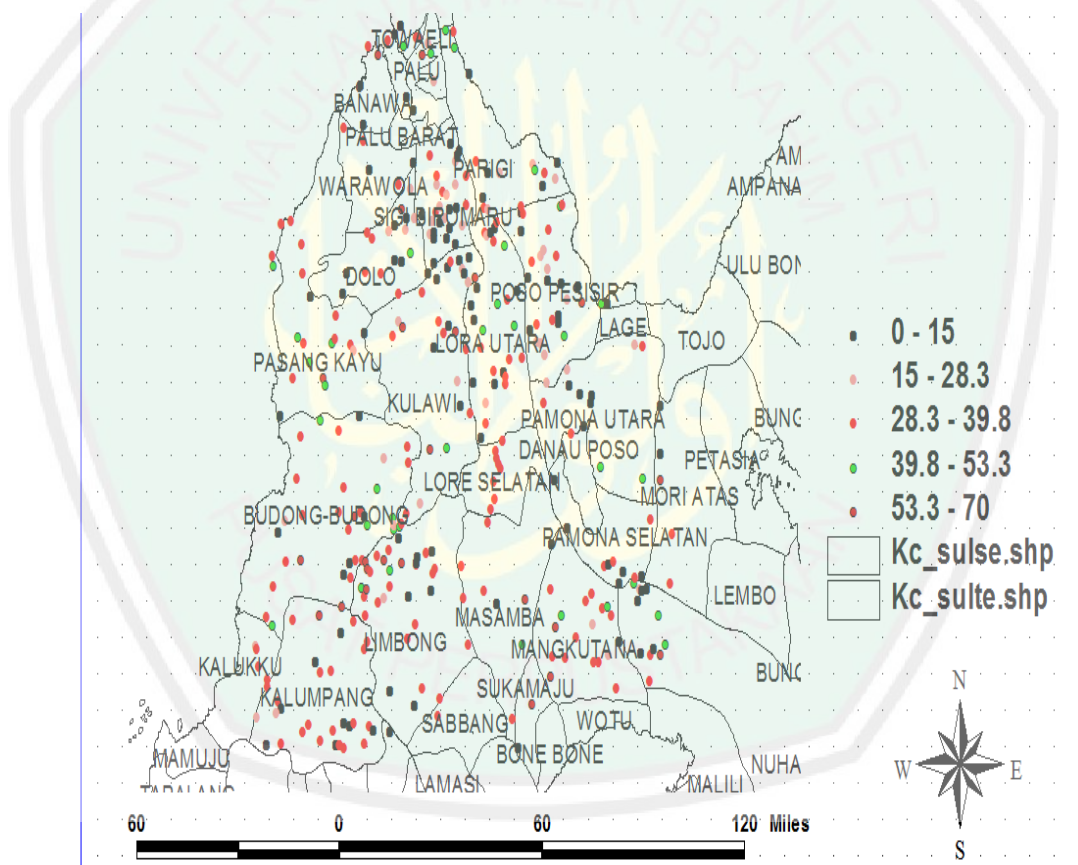


Gambar 4.4 Titik gempa bumi di sekitar Sesar Palu pada tahun 1985-2015

Menurut Hunt (2004), gempa bumi merupakan guncangan pada permukaan bumi yang dihasilkan dari gelombang seismik akibat pelepasan energi secara tiba-tiba dari dalam bumi (Supartoyo dan Surasono, 2008: 6). Menurut Edwiza (2008) gempa bumi merupakan salah satu fenomena fisis yang terjadi sebagai akibat dari pergerakan lempeng-lempeng bumi ataupun proses vulkanik. Gempa bumi sering menyebabkan kerusakan-kerusakan pada daerah ataupun disekitar tempat terjadinya. Gempa bumi terjadi karena gesekan dan tumbukan antara lempeng-lempeng tektonik yang berada jauh di bawah permukaan bumi. Pergeseran ini mengeluarkan energi yang luar biasa besar dan menimbulkan guncangan di permukaan (Dir, 2007). Peta 4.1 merupakan data diperoleh dari data katalog gempa bumi yang diambil dari ISC dengan periode dari tahun 1985-2015 berdasarkan pembatasan wilayah daerah Sesar Palu dan sekitarnya. Dengan memilih magnitudo ≥ 4 SR dengan kedalaman ≤ 70 km serta dengan batasan wilayah $119.2^0 - 121^0$ Bujur Timur dan $0.61^0 - 2.7^0$ Lintang Selatan. Gempa bumi yang terjadi selama 30 tahun dengan skala ≥ 4 SR dan kedalaman ≤ 70 km berjumlah 366 titik, dengan spesifikasi 200 titik gempa bumi yang melewati Sesar Palu dan 166 titik gempa bumi yang terjadi di sekitar sesar palu. sesar yang merupakan pertemuan lempeng-lempeng tektonik di bawah perut bumi itu jenis sesar aktif. Sesar itu terus bergerak satu sama lain dan memiliki sifat pergeseran sinistral (pergeseran ke arah kanan) dengan kecepatan geser sekitar 14-17 mm/tahun. Pergeseran pada lempeng-lempeng tektonik yang cukup aktif di sesar Palu Koro membuat tingkat kegempaan di wilayah itu juga dikategorikan cukup tinggi. Catatan seismograf pada Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Palu

menyebutkan, hampir setiap menit Palu dan Donggala diguncang gempa. Hanya saja getarannya kecil-kecil, dan hanya bisa dicatat seismograf. Akan tetapi pada waktu-waktu tertentu, getarannya bisa besar, bergantung pada gesekan energi yang dikeluarkan dari sesar tersebut. Dengan kondisi patahan Palu Koro yang cukup aktif, dapat dikatakan setiap saat Kota Palu rawan diguncang gempa hebat.

4.2.2 Analisa Dan Data Hiposenter

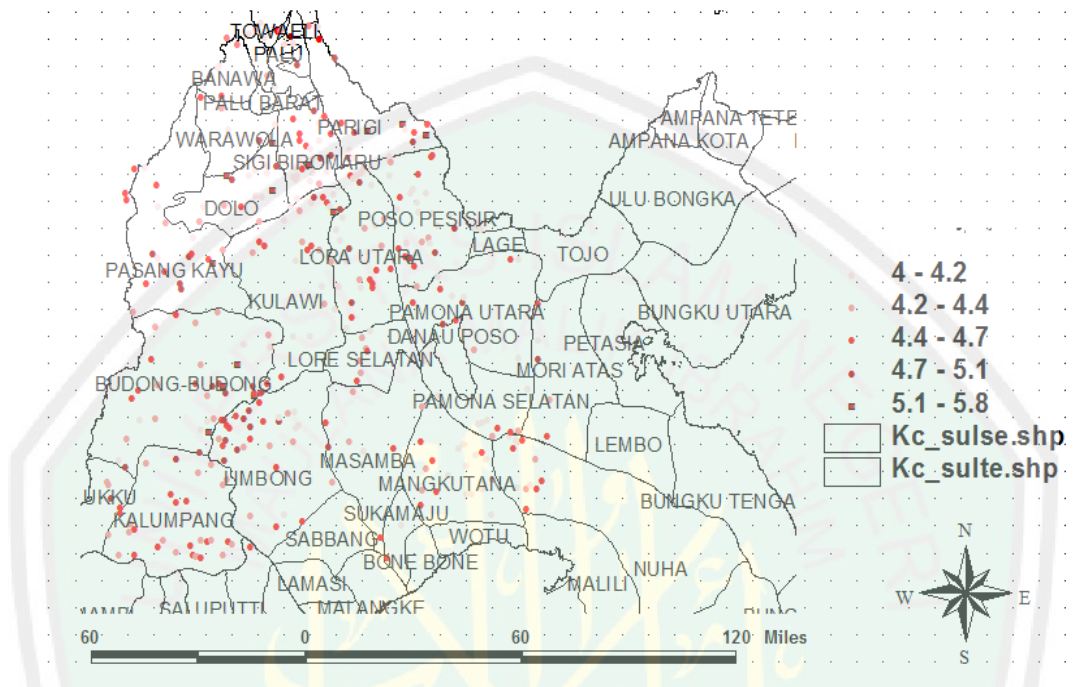


Gambar 4.5 Hiposentrum

Gempa Bumi berdasarkan kedalaman hiposentrum dibagi menjadi 3 bagian: 1) Gempa bumi dalam adalah gempa bumi yang hiposentrumnya lebih dari 300 km dibawah permukaan bumi. Gempa bumi pada umumnya tidak terlalu

bahaya. 2) Gempa bumi menengah adalah gempa bumi yang hiposentrumnya berada kurang dari 60 km dari permukaan bumi. Gempa bumi ini biasanya menimbulkan kerusakan ringan. 3) Gempa bumi dangkal adalah gempa bumi yang hiposentrumnya kurang dari 60 km dari permukaan bumi. Gempa bumi ini biasanya menimbulkan kerusakan besar, artinya gempa semakin dangkal semakin besar terjadinya kerusakan yang ditimbulkan. Di daerah Sesar Palu Koro terdapat 16 titik gempa bumi dengan kedalaman 0 km, artinya 16 titik gempa bumi yang paling merusak selama 30 tahun di daerah Sesar Palu. Nilai terbanyak hiposentrum gempa bumi dikedalaman 10 km sebanyak 49 titik, gempa ini termasuk gempa dangkal yang merusak, gempa dengan kedalaman 10 km banyak terjadi di titik penjalaran Sesar Palu Koro. Gempa menengah Di daerah Sesar Palu terdapat 13 titik hiposentrum dan sisanya terbagi rata titik hiposentrumnya.

4.2.3 Data Dan Analisa Magnitudo



Gambar 4.6 Kekuatan Gempa Bumi

Gempa bumi berdasarkan kekuatannya dibedakan menjadi (Subardjo, 2004): a) Gempa bumi yang sangat besar dengan magnitudo sangat besar dari 8 SR. b) Gempa bumi besar dengan magnitudo antara 7-8 SR. c) Gempa bumi merusak dengan magnitudo antara 5-6 SR. d) Gempa bumi sedang dengan magnitudo antara 4-5 SR. e) Gempa bumi kecil dengan magnitudo antara 3-4 SR. d) Gempa bumi mikro dengan magnitudo anatar 1-3 SR. e) Gempa bumi ultra mikro dengan magnitudo yang lebih kurang dari 1 SR. Dalam penelitian Nilai Percepatan Tanah magnitudo yang diambil lebih besar sama dengan 4 SR, jadi gempa bumi dengan magnitudo di bawah skala 4 SR tidak diambil. Gempa bumi yang terjadi selama 30 tahun tidak mempunyai nilai sangat besar (8 SR) dan besar

(7-8 SR), gempa bumi dengan nilai merusak 5-6 SR terdapat 19 titik gempa bumi, sedangkan nilai gempa sedang (4-5 SR) terdapat sebanyak 247 titik gempa.

4.3 Hasil Perhitungan

Dalam penelitian pemetaan tingkat resiko kerusakan akibat gempa bumi di wilayah sesar palu dan sekitarnya. Berdasarkan Data Gempa Tahun 1985 – 2015 Berdasarkan Pola Percepatan Tanah Dengan Metode Mc Guirre R.K ini data yang diperoleh dari ISC. Data yang diperoleh tersebut yaitu data gempa tahun 1985 – 2015, di Sesar Palu Koro dan Sekitarnya dengan magnitudo mulai dari skala ≥ 4 SR, dan dengan kedalaman mulai $0 \leq 70$ km. Data diperoleh disortir kemudian data tersebut dihitung dengan metode Mc Guirre R.K agar diketahui nilai percepatan tanahnya.

Sebelum mengetahui nilai percepatan tanah pada wilayah Sesar Palu Koro dan sekitarnya, yang perlu dilakukan adalah menghitung jarak episenter dengan rumus.

$$\Delta = \text{Cos}^{-1} \left[\text{Cos}\theta_E \text{Cos}\theta_S + \text{Sin}\theta_E \text{Sin}\theta_S \text{Cos}(\phi_S - \phi_E) \right] \quad (4.1)$$

dimana:

Δ = jarak episenter

θ_E = lintang posisi episenter

θ_S = lintang stasiun pengamat

ϕ_E = bujur posisi episenter

ϕ_S = bujur stasiun pengamat

Kemudian menghitung jarak hiposenter dengan menggunakan rumus:

$$R = \sqrt{\Delta^2 + h^2} \quad (4.2)$$

dimana:

R = jarak hiposenter

Δ = jarak episenter

h = kedalaman sumber gempa

Yang terakhir menghitung harga percepatan tanah maksimum di tiap titik grid pengamatan dengan menggunakan model empiris Mc Guirre R.K sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{472.3 \times 10^{0.278 M_s}}{(R + 25)^{1.301}} \quad (4.3)$$

dimana:

α = percepatan tanah permukaan (gal)

M_s = magnitudo gelombang permukaan

R = jarak hiposenter (km)

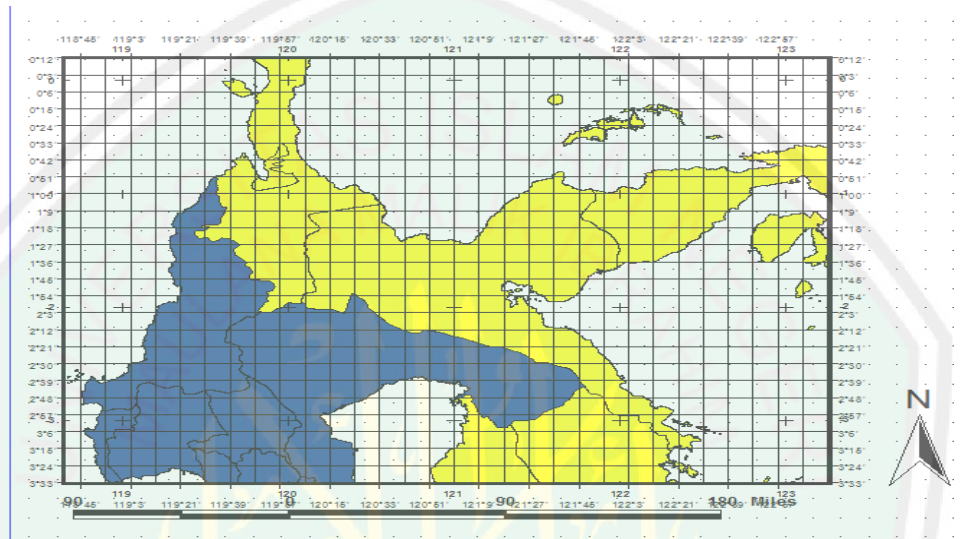
4.4 Pembahasan

Adapun langkah-langkah membuat peta percepatan tanah maksimum (PGA) adalah sebagai berikut:

4.4.1 Tahap Pengolahan Data

1. Menyusun kembali data-data gempabumi yang terjadi dalam wilayah Sesar palu Koro dan sekitarnya dalam kurun waktu 1985-2015.

2. Membagi Sesar Palu Koro dan sekitarnya menjadi beberapa grid, pada setiap grid jarak yang dipakai dalam penelitian ini yaitu $0.15 \text{ derajat} \times 0.15 \text{ derajat}$. Setelah dibagi gridnya maka diperoleh 266 titik sitenya.



Gambar 4.7 Peta Grid untuk pembagian grid wilayah

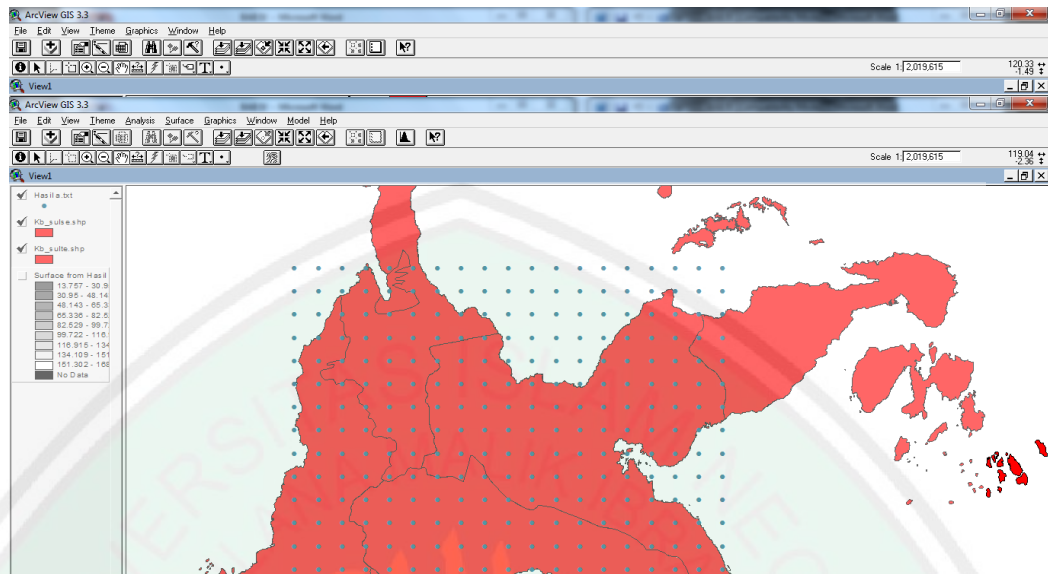
3. Menghitung jarak antara koordinat hiposenter ke tiap-tiap grid/site yang ditentukan sehingga diperoleh jarak hiposenter tiap-tiap/site.
4. Setelah jarak hiposenter diperoleh maka dilakukan perhitungan percepatan tanah maksimumnya dengan pendekatan empiris dengan metode mc.guirre r.k.
5. Menghitung nilai percepatan tanah maksimum untuk setiap grid/site dengan metode Mc.Guirre.R.K. setelah didapatkan nilai percepatan tanah maksimumnya dipilih nilai yang besar untuk setiap grid.

4.4.2 Tahap Pemetaan

Tahap pemetaan dilakukan setelah perhitungan nilai percepatan tanah maksimum pada setiap site selesai, tahapan selanjutnya adalah melakukan

pengonturan pada peta. Melalui pengonturan tersebut, informasi percepatan tanah maksimum yang disampaikan akan lebih mudah untuk diterima oleh pengguna yang memakai *PGA* tersebut. Adapun pemetaan pada modul ini, akan menggunakan software pemetaan *Arcview GIS 3.3*. Adapun langkah-langkah yang dilakukan dalam proses pemetaan ini sebagai berikut:

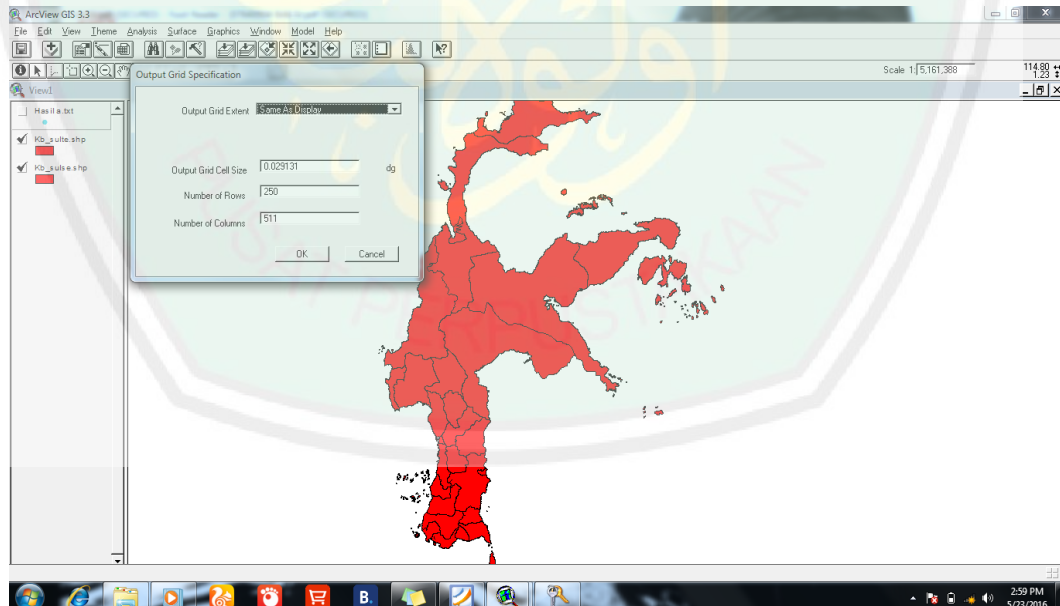
1. Pada tahap proses awal adalah penyimpanan file hasil analisa dengan menggunakan extension *.txt* ataupun *.dbf*. setelah data diconvert dalam bentuk *.txt* atau *.dbf*, selanjutnya program *Arcview GIS 3.3* dijalankan. Setelah itu dimasukan peta dasar Sesar Palu Koro (Sulawesi Tengah dan Sulawesi Selatan) kedalam program dalam peta dasar.
2. Setelah peta dasar Sesar Palu Koro (Sulawesi Tengah dan Sulawesi Selatan) dijalankan, tahap selanjutnya adalah table data *.txt* dari hasil perhitungan Mc Guire R.K percepatan tanah tersebut dimasukan kedalam program.
3. Tahap selanjutnya adalah menampilkan grid-grid tersebut dalam layer tampilan. Dalam kotak dialog Add Event Theme harus bahwa untuk x field adalah bujur/longitude dan Y field adalah lintang/latitude.



Gambar 4.8 Grid peta

4. Setelah grid kita munculkan, tahap selanjutnya yaitu diinterpolasi

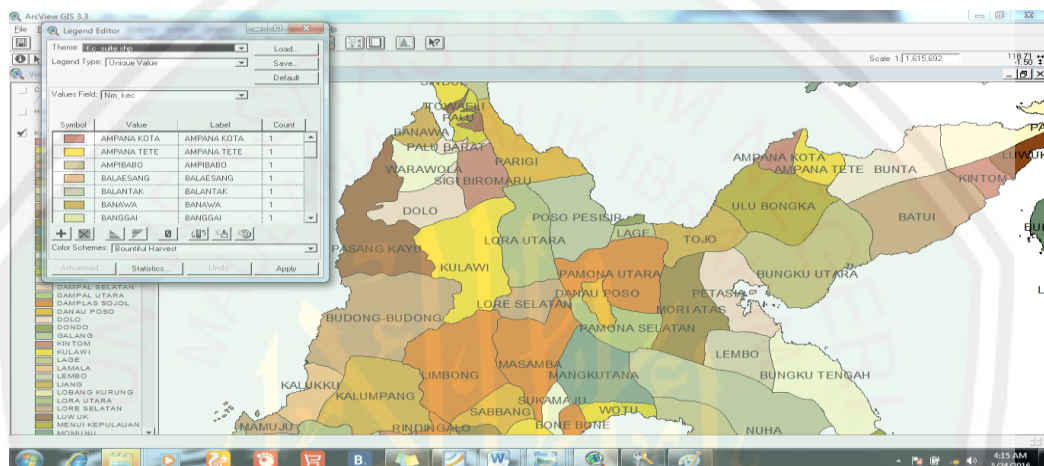
KLIK SURFACE → INTERPOLATE GRID



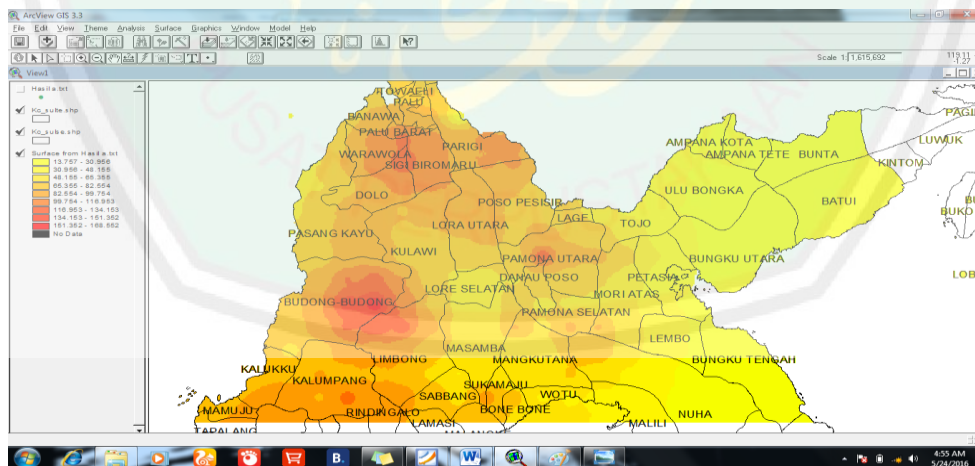
Gambar 4.9 Interpolasi pada peta

Tahap selanjutnya di ganti Z Value Field-nya dengan nilai percepatan tanahnya (A max) dan klik OK. Pada proses selanjutnya peta yang telah di

interpolasi tersebut dicentang agar dapat ditampilkan pada layar. Untuk tampilan awal, range antar interpolasi masih acak, untuk merubahnya dilakukan dibagian legend editornya dengan cara mengeklik 2x interpolasi tersebut. Tahap selanjutnya kita bias mengatur value, label serta color sesuai keinginan kita.

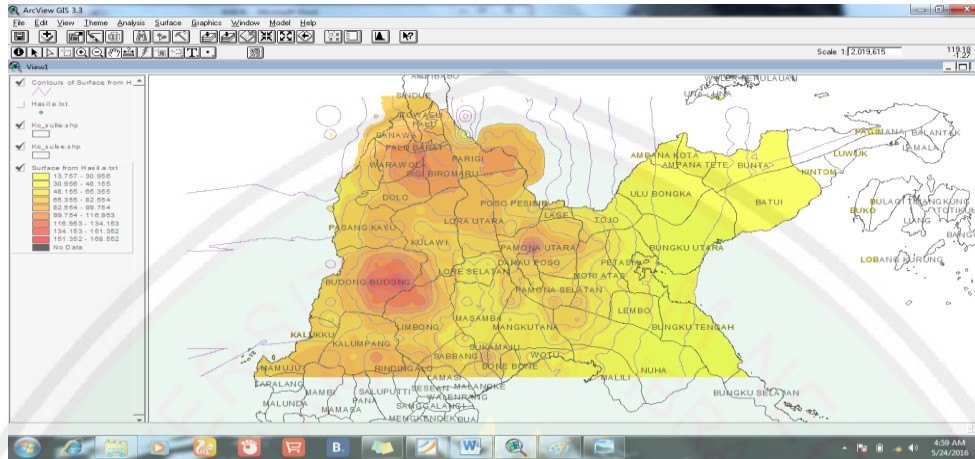


Gambar 4.10 Pemilahan Kecamatan pada peta



Gambar 4.11 pengoturan nilai percepatan tanah maksimum

5. Untuk pembuatan kontur, diklik item **SURFACE**→**CREAT CONTOURS**.

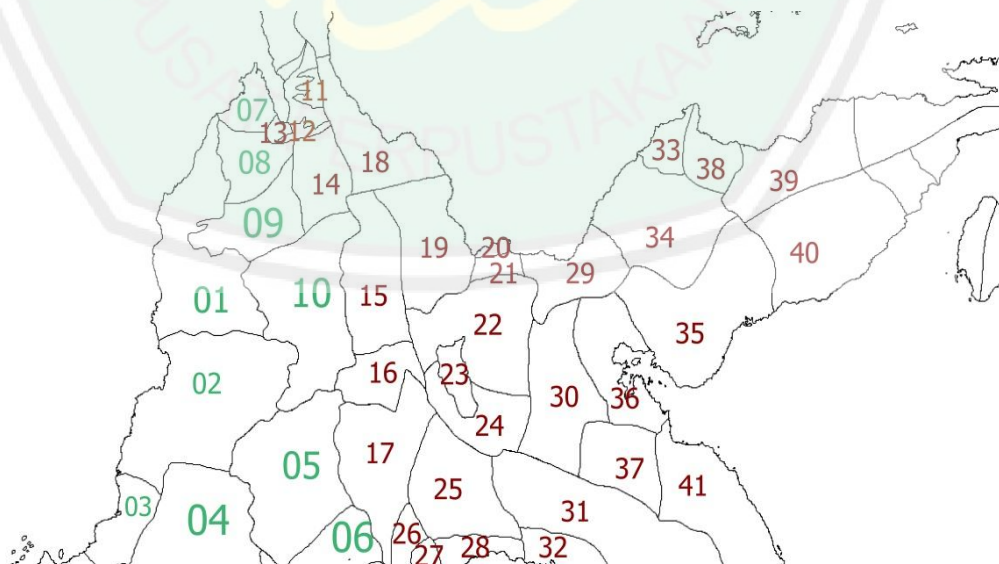


Gambar 4.12 pengonturan secara spesifikasi pada peta

4.3.3 Hasil Percepatan Tanah

Hasil perhitungan dan pengolahan data diatas ditampilkan dengan menggunakan peta percepatan tanah dengan menggunakan metode Mc Guirre R.K

1. Kode Wilayah

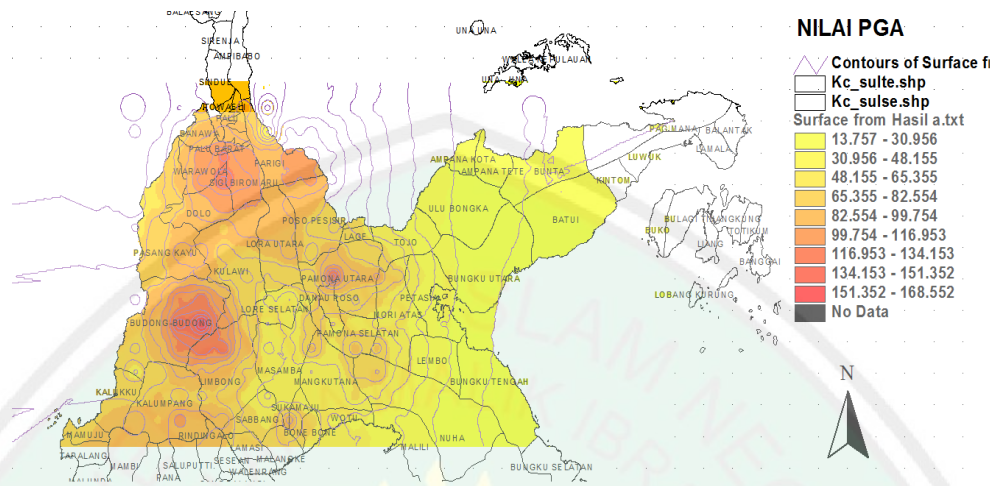


Gambar 4.13 Peta kode wilayah Kecamatan di Sesar palu dan sekitarnya.

Tabel 4.1 Kode Kecamatan di Sesar Palu dan sekitarnya.

NO	Nama kecamatan	NO	Nama kecamatan
1	Pasang kayu	22	Pamona Utara
2	Budong-budong	23	Danau Poso
3	Kaluku	24	Pamona Selatan
4	Kalumpang	25	Mangkutana
5	Limbong	26	Suka Maju
6	Sabbang	27	Bone-bone
7	Banawa	28	Wotu
8	Warawola	29	Tojo
9	Dolo	30	Mori Atas
10	Kulawi	31	Nuha
11	Towaeli	32	Malili
12	Palu	33	Ampana Kota
13	Palu Barat	34	Ulu Bongka
14	Sigibro Maru	35	Bungku Utara
15	Lora utara	36	Petasia
16	Lore Selatan	37	Lembo
17	Masamba	38	Amapana Tete
18	Parigi	39	Bunta
19	Poso Pesisir	40	Batui
20	Poso Kota	41	Bungku tengah
21	Lage	42	

2. Hasil Percepatan Tanah



Gambar 4.13 Hasil Percepatan Tanah

Tabel 4.2 klarifikasi kelas Percepatan Tanah Maksimum dengan Intensitas

Zona	Percepatan Tanah Maksimum (gal)	Intensitas (MMI)
1	>323.4	>IX
2	245 – 323.4	VIII – IX
3	196 – 245	VII – VIII
4	127 – 196	VI – VII
5	39.2 – 127	V – VI
6	<39.2	V

4.5 Pembahasan Hasil Analisa

Dalam penelitian ini data yang diambil selama tahun 1985-2015. Data dengan periode 30 tahun tersebut diharapkan dapat menjadi bahan perbandingan yang lengkap dan bisa digunakan untuk keperluan perencanaan bangunan. Harga percepatan getaran tanah maksimum gempa bumi dapat dihitung dengan cara pendekatan historis gempa bumi.

Hasil pemetaan yang didapat dari perhitungan percepatan tanah maksimum dengan metode Mc Guirre R.K yang ditunjukkan (Gambar 4.5) dapat dilihat bahwa nilai percepatan tanah maksimum yang diperoleh di daerah Sesar Palu mempunyai nilai kisaran 13-168 gal dengan spesifikasi kontur, Merah Tua tingkatan 1 mempunyai nilai 151,352-168,352 gal, Merah tua tingkatan 2 mempunyai nilai 134-151,352 g, merah tua tingkatan ke 3 mempunyai nilai 116,935-134,153 g, merah mempunyai nilai 99,754-116,935 gal, merah mudah mempunyai nilai 82,554-99,754 g, kuning tua tingkatan 1 mempunyai nilai 65,355-82,554 gal, kuning tua tingkatan 2 mempunyai nilai 48,155-65,355 gal, Kuning mempunyai nilai 30,956-48,155 gal dan kuning mudah mempunyai nilai 13,757-30,956 gal. Dari gambar 4.5 nilai percepatan tanah Sesar palu paling tinggi di miliki kecamatan Budong-budong kabupaten Mamuju, Dolo , Pamona Utara untuk lebih lengkapnya lihat table dibawah ini.

Tabel 4.3 Klasifikasi daerah Sesar Palu berdasarkan pola-pola yang dihasilkan dengan metode Mc. Guirre R.K

No	Daerah/Kecamatan	A Mc. Guirre R.K (g)	I (MMI)
1	Ulu Bongka, Bungku utara, Tojo, Petasia, Batui, Nuha, Bungku Selatan, Luwu, Bungku Tengah, Lembo	>39.2	V
2	Pasang Kayu, Dolo, Parigi, Palu Barat, Kulawi, Masamba, Mangkutana, Lage, Dolo Bagian Barat, Lora Utara, Pamona Selatan, Kalukku, Mamuju, Wotu, Moriatas, Limbong, Kalumpang, Sabbang, Bonebone, Masamba, Poso Pesisir, Poso Kota, Danau Poso, Suka Maju	39.2-127	V-VI
3	Budong-budong, Dolo Timur, Sigi biromaru bagian barat, Warawola bagian Timur, Pamona Utara bagian Tengah	127-196	VI-VII

Dilihat dari klasifikasi di atas, nilai percepatan tanah di wilayah Sesar Palu Koro, mempunyai nilai percepatan tertinggi yaitu 151,352-168,352 gal dengan intensitas VI-VII MMI, tepatnya di Kecamatan Budong-Budong timur Kabupaten Mamuju. Disusul daerah ke dua yaitu Kecamatan Pamona Utara kabupaten Poso yang memiliki nilai percepatan tanah 100-133g dengan intensitas VI-VII MMI. Dilihat dari gambar 4.9 gempa bumi yang terjadi di Kecamatan Budong-budong dan sekitarnya cukup banyak dengan magnitude besar, jadi ini yang menyebabkan

Kecamatan Budong-budong memiliki nilai *PGA* tertinggi. Secara geomorfologi Lembar Mamuju sebagian besar berupa pegunungan, hanya sebagian kecil berupa pebukitan dan daratan rendah jadi gempa bumi juga bisa dipengaruhi oleh tektonika yang ada di Mamuju. Di formasi budong-budong terdiri dari batuan-batuan, konglomerat, dengan tebal lapisan beberapa cm sampai 35 cm. komponen utamanya adalah leosit, dasit, granit dan oriolit. Batu pasir, berwarna coklat lunak dengan tebal rata-rata 20 cm, butiran berukuran halus sampai sedang, terdiri dari batuan beku dengan massa dasar lempung. Batu gamping koral, berwarna coklat, tersusun dan pecahan koral, berlapis tipis 1-5 cm terdapat sisipan batuan konglomerat dan batuan pasir. Batu lempung berwarna coklat, lunak berlapis tipis mengandung sisa tumbuhan. Dengan sifat batu lempung yang lunak dengan memiliki *PGA* dan Intensitas paling besar maka kecamatan Budong-budong merupakan daerah yang paling rawan mengalami bencana.

Nilai *PGA* tertinggi kedua berada di Kecamatan Pamona Utara Kabupaten Poso yang memiliki nilai percepatan tanah 100-133gal dengan intensitas VI-VII MMI. Berdasarkan tataan Statigrafi, secara regional geologi lembar Poso termasuk Mendala Sulawesi Barat, Mendala Sulawesi Timur dan Mendala Sulawesi Bangai-Sula. Ketiga Mendala Sulawesi tersebut bersentuhan secara tektonik satu sama lain. Mandala Sulawesi Barat batuan tertua adalah batuan Latimojong yang tersusun oleh endapan flych terdiri dari perselingan serpih, filit batu sabak batu pasir. Dimandal Sulawesi bagian Timur Batuan tertua adalah ofiolit, yang terdiri dari hasbigit, wehrit, gabbro, diabas, dan diorite. Umurnya diperkirakan tidak lebih tua dari kapur terjadi pada malihan tengah. Di mandala

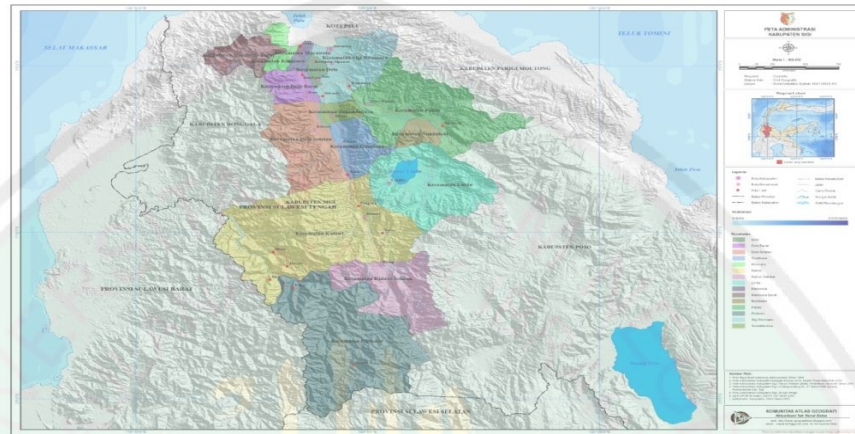
Batur Bangai-Sula, batuan tertua adalah formasi tolaka berumur trias, yang terdiri dari batu gamping, napal, bersisipan serpih, batu pasir dan breksi konglomerat. Adanya beberapa fase tektonik yang terjadi dan sesudah proses penyatuan ketiga mandala geologi menyebabkan terbentuknya struktur geologi yang cukup rumit di daerah ini. Sesar naik utama yang dapat diamati di daerah ini adalah Mendala Sulawesi Timur (Sesar Palu-Koro). Disamping itu juga dijumpai zona sesar mendasar besar Sesar Palu-Koro yang bergerak barat laut-tenggara. Sesar ini yang pergerakannya 14 cm pertahun, Lipatan yang dijumpai merupakan hasil dari beberapa penecenanangan tertutup sampai terbuka sehingga mengakibatkan terbentuknya lipatan yang baru atau sesar. Dengan nilai PGA yang tinggi dan intensitas yang besar di tambah dengan penjalaran Sesar Palu-koro daerah ini merupakan Wilayah yang mempunyai nilai tingkat bencana paling besar.

Nilai percepatan tanah dengan nilai tertinggi ke tiga adalah Kecamatan Dolo Kabupaten Donggala dengan PGA 85-133 gal dan mempunyai intensitas VI-VII. Satuan batuan tertua di daerah ini adalah kompleks batuan Malihan, terdiri dari sekis amfibolit, sekis genes, kuarsit dan pualam, diperkirakan berumur Kapur. Pada beberapa tempat terdapat intrusi-intrusi kecil diorit, granodiorit mengandung urat kuarsa yang kadang-kadang berpirit. Struktur utama yang terdapat di daerah Donggala adalah sesar Palu Koro yang merupakan sesar utama, berarah Baratlaut – Tenggara, berupa sesar mendatar mengiri dan masih giat hingga kini, percepatan pergeserannya diperkirakan 2 – 3,5 mm setiap tahun (Sudradjat, 1981), sesar ini di perkirakan terbentuk sejak Oligosen. Lajur sesar ini melebar ke arah utara dan juga banyak berkembang sesar menengah yang

menyebabkan terbentuknya lembah Palu. Di bagian tengah daerah penyelidikan terdapat sesar-sesar lainnya ber arah sejajar maupun tegak lurus arah sesar utama yang terbentuk bersamaan atau setelah sesar utama. Semakin ke arah utara di samping sesar mendatar juga terjadi pergeseran tegak, dimungkinkan oleh terjadinya pengangkatan akibat tabrakan lempeng benua. Pergerak Sesar di wilayah ini tidak begitu besar dibandingkan dengan daerah Pamona Utara, tapi seidak juga memberikan nilai rawan bencana meskipun tidak sebegitu besar.

Sigi Biromaru bagian barat dengan nilai percepatan tanah 106-132 g dan mempunyai intensitas VI-VII MMI. Kabupaten Sigi terletak $0^{\circ}52'$ - $2^{\circ}03'$ Lintang Selatan dan $119^{\circ}38'$ - $120^{\circ}21'$ Bujur Timur. Secara statigrafi Kabupaten Sigi terdiri dari daerah pegunungan dan dataran rendah. Beberapa satuan pegunungan, perbukitan dan pedataran antara lain: Satuan pegunungan Tokalekaju, terdiri dari Gunung Gawalise dan Gunung Pekava, membujur dari Selatan ke Barat Laut wilayah Kecamatan Kinovaro bagian Barat hingga Kecamatan Pipikoro Bagian Selatan, mempunyai ketinggian puncak rata-rata 2.000 m di atas permukaan laut. A Satuan pegunungan Molengraaf, terdiri dari Gunung Dali, Gunung Tua, Gunung Watimposo sampai Gunung Nokilalaki dengan ketinggian rata-rata 1.500-2.800 m di atas permukaan laut. Satuan Pegunungan Palolo, Gumbasa, dan Lindu, dengan ketinggian rata-rata 700 – 1.700 m. Satuan perbukitan Marawola, perbukitan Bora, dengan banyaknya pegunungan dan dilewatinya Sesar Palu koro dengan membentangnya lembah palu ke Kabupaten Sigi khususnya kecamatan Sigi Biromaru memiliki nilai rawan

bencana terhadap bangunan yang tinggi. Berikut peta administrasi di Kabupaten Sigi.



Gambar 4.14 Peta Administrasi

Setiap gempa yang terjadi akan menimbulkan satu nilai percepatan tanah pada suatu tempat (site). Karena Semakin besar nilai percepatan tanah maksimum yang pernah terjadi disuatu tempat, semakin besar resiko gempabumi yang mungkin terjadi. Jika suatu daerah sering mengalami peristiwa gempa bumi maka percepatan tanahnya akan semakin cepat, Hal ini memberikan gambaran dan manfaat bagi masyarakat jika ingin membangun sebuah gedung-gedung yang menjulang tinggi atau membangun perusahaan, juga rumah mewah tidak berada pada daerah yang percepatan tanahnya tinggi, seperti di Kecamatan Budong-budong dan Kecamatan Pamona Utara.

Pada bangunan yang berdiri di atas tanah memerlukan kestabilan tanah tersebut agar bangunan tetap stabil. Percepatan gelombang gempa yang sampai di permukaan bumi disebut juga percepatan tanah, merupakan parameter yang perlu dikaji untuk setiap gempa bumi, kemudian dipilih percepatan tanah maksimum

atau Peak Ground Acceleration (PGA) untuk dipetakan agar bisa memberikan pengertian tentang efek paling parah yang pernah dialami suatu lokasi.

Memang sejauh ini belum ada alat yang mendeteksi kapan gempa bumi akan terjadi. Tetapi dengan adanya penelitian serupa dan dari hasil penelitian yang dilakukan setidaknya akan memberikan gambaran tentang daerah yang rawan terjadi gempa bumi yang rawan dengan kerusakan akibat dari gempa bumi. Agar dapat meminimalisir korban akibat gempa bumi.

Dalam catatan Badan Meteorologi, Krimitalogi dan Geofisika mengatakan bahwa sampai saat ini, Sesar palu koro terjadi gempabumi setiap hari, meskipun skala gempa belum signifikan besar, yaitu dibawah 4 SR. Di dalam al-Quran sudah menjelaskan bahwa gempa bumi bagi manusia bisa bermakna azab bagi mereka yang tidak berilmu dan beriman serta. Juga bisa bermakna sebagai nikmat bagi mereka yang mempunyai sifat Ulul Albab “Mereka adalah orang yang bisa mengambil pelajaran dari sejarah umat manusia.” (QS. 12:111). Secara teori gempa bumi di daerah Sesar Palu terjadi setiap hari akibat aktifitas sesar yang bergerak 14 cm/pertahun. Dan akan sangat bahaya jika tidak terjadi gempa bumi setiap hari, di karenakan energi akan tersimpan di batuan akibat pergeseran sesar, sedangkan sifat batuan sendiri mempunyai elastisitas tertentu untuk menahan energi jika tidak terjadi setiap hari maka akan terjadi gempa yang besar yang mengkitab kerusakan yang besar pula. Dalam al-Quran “dan bumi telah mengeluarkan beban-beban berat yang dikandungnya (energi).

Dari hasil analisa *PGA*, intensitas dan struktur geologi menyatakan bahwa daerah paling rawan mengalami bencana alam adalah Kecamatan Pamona Utara Kabupaten Poso. Di jelaskan didalam al-Quran:

ظَهَرَ الْفَسَادُ فِي الْبَرِّ وَالْبَحْرِ بِمَا كَسَبَتْ أَيْدِي النَّاسِ لِيُذِيقَهُمْ بَعْضَ الَّذِي عَمِلُوا لَعَلَّهُمْ يَرْجِعُونَ ﴿٤١﴾ قُلْ سِيرُوا فِي الْأَرْضِ فَانظُرُوا كَيْفَ كَانَ عَاقِبَةُ الَّذِينَ مِنْ قَبْلُ كَانَ أَكْثَرُهُمْ مُشْرِكِينَ ﴿٤٢﴾

“Telah tampak kerusakan di darat dan dilaut disebabkan karena perbuatan tangan manusia, Allah menghendaki agar mereka merasakan sebagian dari (akibat) perbuatan mereka, agar mereka kembali (kejalan yang benar). (Ar-rum, 41). “Katakanlah (Muhammad), “Bepergianlah di bumi lau lihatlah bagaimana kesudahan orang-orang dahulu. Kebanyakan dari mereka adalah orang-orang yang mempersekutukan (Allah).” (Ar-rum: 42).

Menurut tafsir al mu'tabar Qs Ar-rum ayat 41 menegaskan bahwa kerusakan dimuka bumi tidak lain karena ulah manusia itu sendiri yaitu melakukan peperangan di luar koridor syariat Allah Swt. dalam peperangan itu manusia membunuh manusia yang oleh Allah dilindungi hak hidupnya, bahkan merusak segala tatanan alam yang ada. Sedangkan, Qs Ar-rum ayat 42 menekankan pentingnya kajian sejarah tentangnya perilaku umat-umat terdahulu untuk menjadi pelajaran bagi generasi dibelakangnya. Diawal tahun 2000 sampai sekarang di daerah Kecamatan Pamona Kabupaten Poso sering terjadi kerusuhan (peperangan antar agama).

BAB V KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pemetaan tingkat resiko kerusakan akibat gempa bumi di sekitar sesar palu koro berdasarkan pola percepatan tanah maksimum dengan metode Mc.Guirre.R.K dapat diuraikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai percepatan tanah maksimum di daerah Sesar Palu Koro pada tahun 1985-2015 menggunakan metode Mc Guirre. R.K. mempunyai nilai tertinggi 168 gal yang terdapat di Kecamatan Budong-budong Kabupaten Mamuju.
2. Kontur percepatan getaran tanah maksimum (*peak ground accelaretion*) PGA daerah Sesar Palu Koro periode 1985-2015. Menunjukkan pola sebaran yang variasi daerah satu dengan daerah yang lainnya.
3. Daerah rawan kerusakan berada pada wilayah Budong-Budong dengan nilai PGA 151,352-168,352 gal, Kecamatan Pamona Utara kabupaten Poso yang memiliki nilai percepatan tanah 100-133 gal, Dolo Kabupaten Donggala dengan PGA 85-133 gal, Sigi Biromaru bagian barat dengan nilai PGA 106-132 gal.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya data penelitian dapat diambil dengan jangka waktu yang lebih lama dalam jangka 100 tahun atau lebih dari itu, agar hasil kontur percepatan tanah lebih maksimal

Skripsi ini bisa dilanjutkan tahap analisa pengulangan gempa bumi kemudian dilanjutkan dengan analisa gempa bumi untuk jangka waktu yang diinginkan.



DAFTAR PUSTAKA

- Afnimar. 2009. *Seismologi*. Bandung: ITB
- Agus. 2009. *Penerapan Metode Stacking dalam Pemrosesan Sinyal Seismik Laut di Perairan Barat Aceh*. Bogor: IPB
- Atmojo, Jatmiko Prio. 2009. *Plate Tectonic*, Kuliah Geologi Dasar. Jakarta: UI
- Baxter, S. 2000. *Earthquake Basics*. Delaware: University of Delaware Newark.
- Delfebriyadi. 2008. *Studi Hazard Kegempaan Wilayah Provinsi Bantengan DKI Jakarta*. Jurnal teknik sipil Universitas Andalas, No. 30 Vol. 1 Thn. XV November 2008: 6
- Dir. 2007. *Interpretasi Bawah Permukaan Dengan Metode Self Potential Daerah Bledug Kuwu Kradenan Grobogan*. Semarang: Laboratorium Geofisika, Jurusan Fisika Universitas Diponegoro
- Coffield et al. 1993, *Physics for Students of Science and Engineering*, Orlando: Academic Press, Inc.
- Edziwa, Daz, 2008. *Analisis Terhadap Intensitas dan Percepatan Tanah Maksimum Gempa Sumbar*. Vol.1. No.29.
- Elnashai, S.A. dan Sarno, D.L. 2008. *Fundamental of Earthquake Engineering*. Wiley. Hongkong.
- Fauzi. 2004. Sistem Informasi Gempa Bumi di Indonesia. *Penerapan hasil riset untuk penanggulangan bencana tsunami di Indonesia*. Jakarta: BPPT-Press
- Gadallah, R.M dan Fisher, R. 2009. *Exploration Geophysics*. Springer. Berlin.
- Hndiwiria. 1990. *Geografi Regional Republik Indonesia*. Jurusan Geografi, FMIPA. Jakarta: Universitas Indonesia.
- Hess. 1990. *Applied Geophysic*. London: Cambridge University Press.
- Ibrahim. 2004. *Al-Qur'an Tentang Alam Semesta*. Jakarta: Amzah
- Irsyam, Josina. 2010. *Gempa Bumi dan Aktivitasnya di Indonesia*. http://www.academia.edu/13038442/GEMPA_BUMI_DAN_AKTIVITASN_YA_DI_INDONESIA. Diakses pada tanggal 17 Februari 2016.
- Kamal. 2006. *Kuantifikasi Frekuensi dan Resolusi Menggunakan Seismik Refleksi di Perairan Maluku Utara*. Bogor: IPB.

- K.E Bullen. 1995. *Theory and Problems of Physics Engineering and Science*, New York: McGraw-Hill,
- McCaffrey et al. 1985. *A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface*. Japan: Quarterly Report of Railway Technical Research Institute (RTRI), Vol. 30, No.1
- Mogi, K. 1967. *Earthquake and Fracture*. Tectonophysics-Elsevier Publishing Company. Amsterdam
- Natawidjaya, CD. (2005). *Hidrologi Teknik Edisi Ke-2*. Jakarta: Erlangga.
- Reid H. F ., 1982. *Elastic Rebound Theory of Earthquake*. BSSA. Vol 11.
- Rusydi, M. 1998. *Studi Kegempaan di Daerah Sulawesi*. Tesis. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Silveret R. A. 1986, *Physics for Scientist and engineering with Modern Physics*, New york: Saunders College Publishing.
- Subardjo, 2004. *Pengetahuan Seismologi*. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika
- Sugiantoro. 1989. *Studi Gelombang Seismik Mikropada Medium Dua Fasa*. Yogyakarta: UGM.
- Supartoyo dan Surosono. 2008. *Katalog Gempa Bumi Merusak di Indonesia tahun 1629-2007*. Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Badan Geologi Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi. 159 hal.
- Susilawati. 2008. *Penerapan Penjalaran Gelombang Seismik Gempa pada Penelaahan Struktur Bagian Dalam Bumi*. Karya Ilmiah. Medan: Jurusan Fisika Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sumatera Utara.
- Wegener. 1924. *Groundwater Hydrology*. New York: John Wiley & Sons.

Lampiran 1

lat	lon	mag	depth
-1.1781	119.3649	4.1	35
-1.1849	119.3221	4.7	33
-1.2448	119.4117	4.7	37
-1.2768	119.287	4.7	33
-1.3058	119.2917	4.6	50.5
-1.3289	119.4181	4.2	37
-1.3942	119.4485	4.3	10
-1.5116	119.3976	5.1	47.5
-1.5291	119.4199	4.1	33
-1.5817	119.4473	4.6	45.9
-1.6276	119.5068	5	63.1
-1.6299	119.3724	4.5	33
-1.65	119.512	4.8	42.1
-1.74	119.32	4.4	11
-1.751	119.491	4.5	43.2
-1.7985	119.4067	4.4	33
-1.9203	119.3914	4.5	33
-2.0249	119.4172	4.3	33
-2.042	119.339	4.7	28.2
-2.0749	119.3125	4.5	11.9
-2.1535	119.4088	4.3	60.4
-2.1607	119.3438	4	31.2
-2.2308	119.2919	4.4	33
-2.3135	119.4903	4.9	55.2
-2.3185	119.2615	4.2	33
-2.3262	119.3737	4.3	31.1
-2.3423	119.2872	4.8	42.5
-2.4018	119.2132	4.4	28.1
-2.4106	119.2191	4.3	33
-2.45	119.47	4.6	10
-2.4628	119.2275	4.9	33
-2.4791	119.4911	4.5	33
-2.4976	119.2668	4.5	33
-2.5187	119.2674	4.7	33
-2.5632	119.3101	4.3	33
-2.584	119.325	6	4.6
-2.5958	119.303	4.4	22.7
-2.6068	119.2194	4.4	22.9
-2.628	119.441	4.4	33
-2.6501	119.4169	4.5	33
-2.675	119.4928	4.3	33
-2.6829	119.3248	4.7	33
-2.6857	119.2603	4.4	2
-2.474	119.5362	4.6	33
-1.5263	119.5444	4.8	43
-2.6447	119.5484.5	33	0

lat	lon	mag	depth
-1.5158	119.5536	4.6	37
-1.4485	119.5577	4.1	37
-2.6859	119.5597	4.5	9.2
-2.6867	119.5702	4.4	33
-2.0179	119.5714.5	33	0
-1.7808	119.5723	4.4	33
-2.6865	119.5766	4.3	33
-2.3632	119.5807	4.3	0
-2.2867	119.5859	4.8	70
-1.3857	119.5884	4.3	10
-2.1951	119.5914.2	10.1	0
-0.9069	119.5911	4.6	33
-2.6966	119.5918	4.6	33
-1.9436	119.5924	4.3	33
-2.6235	119.5924	4.4	2
-1.3276	119.6045	4.1	10
-2.0662	119.6157	4.4	33
-2.1616	119.6164	4.1	2.4
-2.6338	119.6188	4.6	2
-2.2061	119.6216	5.5	34.4
-1.5345	119.6227	47	33
-2.6236	119.6331	4.4	33
-2.3314	119.6344	4.4	33
-1.55	119.6359	5.5	24.8
-2.0278	119.6387	5.1	54.7
-2.154	119.6423	4.4	33
-0.7902	119.6608	4	69.2
-1.7409	119.6613	4.3	2
-2.0178	119.663	4.5	33
-0.7856	119.6649	4	0
-2.231	119.6678	4.4	49.2
-2.1566	119.674	4.5	33
-0.8979	119.6757	4.6	2
-0.9455	119.6775	4.4	33
-2.6843	119.6797	4.4	33
-2.028	119.68	5.7	10.3
-1.4989	119.6806	4.4	10
-2.4099	119.6817	4.3	33
-2.2599	119.6826	4.5	33
-2.3139	119.6839	5.1	33
-1.3257	119.685	4.4	33
-2.1566	119.6851	4.8	54.6
-2.2384	119.6917	4.9	61
-2.053	119.6934	5	51.3
-1.2112	119.6938	5.5	32.1
-2.1798	119.6943	4.7	58.1
-2.3891	119.6945	44	33
-0.6726	119.6987	4.4	30.8
-1.03	119.7	4	10

-2.6312	119.7022	4.6	33
-2.1895	119.7062	4.6	33
-1.2255	119.7157	4.8	39.1
-2.6441	119.7187	4.3	2
-2.143	119.7337	4.6	33
-1.9467	119.7377	5.7	47.4
-0.6976	119.7384	4.3	65.8
-2.2748	119.7399	4.8	32.8
-1.328	119.752	4.6	33
-2.2655	119.7635	4.3	28.3
-2.1515	119.764	5	63.5
-1.8629	119.7665	4.2	27.3
-0.6567	119.7835	4	29.3
-2.1236	119.7851	4.9	33
-1.208	119.7869	4	28
-2.5332	119.7896	4.4	2
-2.65	119.79 4.7	12	0
-2.2321	119.7905	4.5	33
-2.1826	119.7913	5.1	52.9
-1.507	119.8034.4	33	0
-2.0293	119.8041	4.6	50
-2.0651	119.8078	5.5	45.1
-2.0519	119.8084	4.6	27.7
-0.64	119.81 4.2	15	0
-1.29	119.81 4	14	0
-1.1885	119.8122	4	10
-1.0712	119.8257	4.9	34
-1.3865	119.8266	4.4	33
-1.4649	119.8273	4.6	25.8
-2.0897	119.8285	4.5	2
-2.0561	119.8324	4.7	44.6
-0.6161	119.8346	4.2	10
-1.1419	119.8399	4	57.2
-1.2935	119.8399	4.1	0
-2.0495	119.84 5	38.1	0
-2.1623	119.8426	4.7	55.7
-1.4823	119.8473	4.6	58.9
-0.6738	119.8485	4	45
-1.2	119.8577	4	27.1
-0.8184	119.8597	4.3	3.9
-2.0185	119.8598	4.6	33
-1.17	119.86 4.1	10	0
-1.8291	119.8664	4.4	33
-2.3791	119.8674	4.2	33
-2.2607	119.8689	4.4	2
-1.8747	119.8705	4	33
-1.2677	119.8774	5.8	44.4
-1.0854	119.8779	5.8	20.3
-0.86	119.89 4.2	10	0
-1.01	119.89 4	10	0

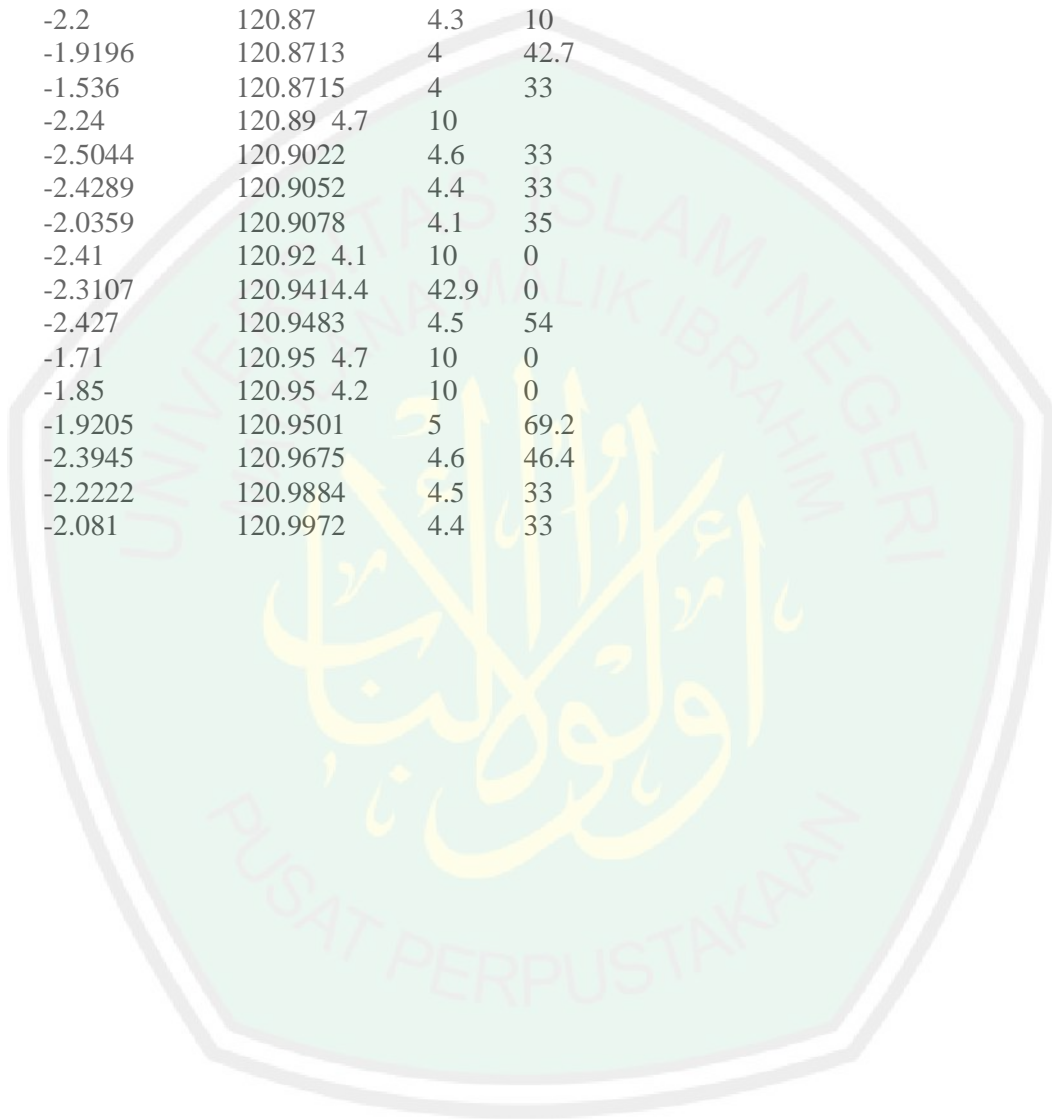
-1.17	119.8944.9	20.8	0
-2.576	119.8947	4.5	2
-2.3413	119.8987	45	33
-0.6465	119.9035	4.5	33
-2.166	119.9046	4.4	33
-2.1635	119.9051	4.8	2
-2.146	119.9072	4.1	0
-0.6461	119.9142	4.4	33
-1.9901	119.9197	4.5	20.6
-1.1585	119.9267	4	10
-1.3809	119.9275	4.2	33
-0.6984	119.9283	4.2	63
-2.5239	119.9302	4.2	33
-2.1315	119.9442	4.3	33
-1.3284	119.9554.1	10	
-0.666	119.9553	4.9	28
-0.9873	119.9627	4.5	33
-1.8324	119.9637	4	60.9
-1.2165	119.9638	4.1	19.7
-2.2428	119.9647	4.3	2
-0.6924	119.9658	4.2	52.4
-2.13	119.97 4.1	10	
-1.1751	119.9724	4.2	28
-2.1917	119.9726	4.1	33
-1.5421	119.9767	4.1	10
-1.2254	119.9771	4	10
-0.7758	119.9792	4.9	28
-1.21	119.98 4.1	15	0
-1.3	119.98 4	10	0
-2.1785	119.9832	4.1	33
-1.1514	119.9885	4	35
-1.073	119.99 4.7	28	0
-1.0464	119.9909	4.6	33
-1.3448	119.9917	4.3	10
-2.6036	119.9959	4.2	33
-1.4657	119.9986	4.4	33
-1.1362	120.0019	4	28
-2.5546	120.0024.6	33	0
-1.1826	120.0032	4.5	10
-1.0937	120.0146	4.7	36.8
-1.4995	120.0198	4.6	33
-1.1679	120.0252	5.5	21.3
-0.6268	120.0286	4.4	45
-1.2292	120.0319	4	10
-1.1024	120.0324	4.2	28
-1.8317	120.0344	40.4	0
-1.3126	120.0367	4.2	10
-1.48	120.04 4.6	10	0
-1.1427	120.0442	4.2	10
-1.1989	120.0454	0	0

-0.955	120.0494.8	11.4	0
-1.295	120.0514.9	33	0
-0.6318	120.0629	4.1	33.8
-0.6768	120.0688	4.6	50.6
-1.0058	120.0694	4.1	23
-1.0723	120.07 4.1	28	0
-1.4956	120.0713	4.4	64.7
-1.2427	120.0714	4.3	0.3
-1.1393	120.0742	4.9	10
-0.99	120.08 4.2	10	0
-1.64	120.08 4	17	0
-1.2905	120.0875	4.5	10
-0.9775	120.0879	4.6	2
-1.71	120.09 4.3	10	0
-2.172	120.0962	4.5	35.1
-1.3158	120.1012	4.6	19.4
-1.191	120.1024	4.2	28
-2.2647	120.1052	4.8	39.8
-1.33	120.11 4	10	0
-1.0484	120.11 54	4.5	33
-1.1324	120.1169	4.8	33
-1.547	120.1187	4.4	33
-2.399	120.1245	4.3	33
-1.3518	120.1275	5.7	27.9
-1.2812	120.1286	4.2	10
-0.7533	120.1315	4.8	2
-1.7305	120.1327	4	35
-1.42	120.14 4.2	10	0
-1.6406	120.1476	4.1	10
-1.4611	120.1522	4.1	4.2
-1.3397	120.1546	4.9	54.9
-1.0046	120.1601	4.7	33
-1.3711	120.1621	4.2	10
-1.8011	120.1788	4	10
-1.54	120.18 4.2	37	0
-1.49	120.1885.1	44.6	0
-1.11	120.19 4	12	0
-2.2424	120.1908	4.3	33
-1.1404	120.1925	4.8	36.3
-1.209	120.1984.7	33	0
-1.7583	120.2009	4.5	33
-1.701	120.2014.8	25.8	0
-1.2169	120.2064	4.2	28
-2.0473	120.2078	4.4	33
-1.1417	120.2084	4.2	28
-1.04	120.21 4.6	12	0
-1.21	120.22 4	10	0
-2.0081	120.2205	4.5	33
-1.9261	120.2334.3	33	0
-1.2355	120.2334	4.9	33

-1.6108	120.2344	4.3	33
-1.646	120.2374.2	0	0
-1.1958	120.2386	4.2	0
-1.9764	120.2389	4.3	33
-1.8403	120.2448	4.4	33
-1.1829	120.2454	4.1	33
-2.2799	120.2472	4	0
-1.8588	120.2488		33
-1.4155	120.2541	4.3	47.7
-1.879	120.2564.4	33	0
-1.04	120.26 5.3	18	0
-1.889	120.2634	4.5	33
-1.8114	120.2744.1	33	0
-1.6129	120.2767	4.6	2
-1.2447	120.2802	4.2	49
-1.6273	120.2859	4.5	33
-1.646	120.2865	4.7	35.3
-1.404	120.2954.1	33	0
-1.576	120.3014.6	33	0
-2.614	120.3152	4.6	33
-1.4792	120.3219	4.4	43.8
-1.3767	120.3335	4.4	0
-2.6959	120.3412	4.6	2
-1.2082	120.3507	4	0
-1.1514	120.3511	4.1	0
-1.133	120.3534	33	
-1.5707	120.3557	4.6	33
-1.1541	120.3594.3	33	
-2.396	120.3594.1	51.8	0
-2.268	120.37 4.6	61.3	0
-1.3387	120.3824	4	7.4
-1.49	120.39 4.7	10	0
-1.2931	120.3969	4.5	33
-2.5672	120.3994	4	54.9
-1.012	120.4015.8	27.4	0
-1.0304	120.4136	4.1	49
-1.525	120.4173	4.6	23
-1.4737	120.4197	4.1	35
-1.2766	120.4354	4.1	20.5
-1.529	120.4364.9	22.1	0
-1.0775	120.4465	5.1	13
-1.7012	120.4486	4.5	33
-1.26	120.45 4	27	0
-1.563	120.4518	4.7	23
-1.0398	120.4544.6	30.4	0
-1.6418	120.4616	4.3	23
-1.3153	120.4654	4.1	23
-1.348	120.4674	4.1	1.6
-1.2025	120.4702	4.7	33
-2.2403	120.4766	4.5	37.4

-2.489	120.4773	4.6	59.7	
-2.1086	120.4834	4.4	2	
-2.4332	120.4847	4.4	35.2	
-1.464	120.4864.3	39.2	0	
-1.9258	120.4955	4	5.9	
-1.0536	120.4987	5.6	25.9	
-1.2757	120.5012	4.2	33	
-2.3458	120.5013	4.4	64.7	
-1.0102	120.5056	4.5	10	
-1.45	120.5124.3	14.5	0	
-1.4703	120.5133	4.1	0	
-1.1353	120.5205	4.7	43.4	
-2.314	120.5254.5	49.1	0	
-1.3561	120.5253	4.2	0	
-1.1295	120.5281	4.5	33	
-1.508	120.5394.8	50.5	0	
-2.4357	120.5417	4.6	33	
-1.6045	120.5477	4.2	23	
-2.0631	120.5479	4.2	10	
-1.404	120.5483	4.2	23	
-1.6506	120.5588	4.5	7.6	
-1.788	120.5669	5	29.3	
-2.3758	120.5879	4	35	
-1.3672	120.5949	4	0	
-1.6754	120.6054.1	10	0	
-1.411	120.6137	5	59.7	
-1.77	120.62 4.7	10	0	
-2.2715	120.6289	4	35	
-1.7	120.6494.9	2	0	
-2.2517	120.6524	4	35	
-1.6824	120.6546	4.1	10.9	
-2.3375	120.66	4.1	19.2	0
-2.449	120.6621	4	33	
-2.4497	120.6824.1	35	0	
-1.8848	120.6938	4.3	42.7	
-1.415	120.6962	4	51.9	
-2.2936	120.6987	4.2	35	
-2.1724	120.7104	4.2	33	
-1.4164	120.7203	4	0	
-2.2864	120.7232	4.7	53.3	
-2.429	120.72 4	4.2	23.6	0
-2.1692	120.7254	13.2	0	
-2.312	120.74	4.2	33	0
-2.158	120.7464	33	0	
-2.525	120.761	4.2	33	
-2.22	120.77	4.3	10	
-2.39	120.77	4.4	10	
-2.19	120.79	4.6	10	
-2.2211	120.8351	4.2	42.4	
-2.205	120.839	4.6	33	

-1.5328	120.8398	4.5	19.3
-2.27	120.85	4.6	12
-2.24	120.86	4.2	16
-2.4221	120.8659	4.2	10
-2.2408	120.8691	4.1	10
-2.2	120.87	4.3	10
-1.9196	120.8713	4	42.7
-1.536	120.8715	4	33
-2.24	120.89	4.7	10
-2.5044	120.9022	4.6	33
-2.4289	120.9052	4.4	33
-2.0359	120.9078	4.1	35
-2.41	120.92	4.1	0
-2.3107	120.9414.4	42.9	0
-2.427	120.9483	4.5	54
-1.71	120.95	4.7	10
-1.85	120.95	4.2	10
-1.9205	120.9501	5	69.2
-2.3945	120.9675	4.6	46.4
-2.2222	120.9884	4.5	33
-2.081	120.9972	4.4	33



Lampiran 2

lintang bujur	a max
-0.675 119.275	43.52688502
-0.825 119.275	47.96075207
-0.975 119.275	51.02128493
-1.125 119.275	51.67111091
-1.275 119.275	52.40459458
-1.425 119.275	58.95882323
-1.575 119.275	61.00777506
-1.725 119.275	71.48733415
-1.875 119.275	66.98926273
-2.025 119.275	72.20962612
-2.175 119.275	67.26075492
-2.325 119.275	59.05514233
-2.475 119.275	78.11483917
-2.625 119.275	97.9193722
-0.675 119.425	51.14543272
-0.825 119.425	58.47800994
-0.975 119.425	64.06832879
-1.125 119.425	65.32174633
-1.275 119.425	64.2242996
-1.425 119.425	74.64857771
-1.575 119.425	78.94551136
-1.725 119.425	71.98134435
-1.875 119.425	89.03324357
-2.025 119.425	98.51855834
-2.175 119.425	89.66821045
-2.325 119.425	72.65083287
-2.475 119.425	83.22168123
-2.625 119.425	82.02383263
-0.675 119.575	59.63195903
-0.825 119.575	76.53806014
-0.975 119.575	82.83463925
-1.125 119.575	85.55605357
-1.275 119.575	77.58289885
-1.425 119.575	88.54849389
-1.575 119.575	96.22648965
-1.725 119.575	84.41682761
-1.875 119.575	117.8196927
-2.025 119.575	146.8221486
-2.175 119.575	119.3933097
-2.325 119.575	91.51086117
-2.475 119.575	72.50322088
-2.625 119.575	105.8938029
-0.675 119.725	67.1923203
-0.825 119.725	88.03511977
-0.975 119.725	107.4282913
-1.125 119.725	113.7756362
-1.275 119.725	96.51356874

-1.425 119.725 86.71616306

lintang bujur

a max

-1.575	119.725	93.84674685
-1.725	119.725	87.19647471
-1.875	119.725	126.4714893
-2.025	119.725	168.6699837
-2.175	119.725	128.4853279
-2.325	119.725	88.3914731
-2.475	119.725	77.80125241
-2.625	119.725	97.03383285
-0.675	119.875	70.48792083
-0.825	119.875	93.37210054
-0.975	119.875	123.3042058
-1.125	119.875	133.7106292
-1.275	119.875	107.2122241
-1.425	119.875	80.17896357
-1.575	119.875	75.26697735
-1.725	119.875	77.45902961
-1.875	119.875	100.2621625
-2.025	119.875	114.9012537
-2.175	119.875	127.1079614
-2.325	119.875	85.39823457
-2.475	119.875	77.83883882
-2.625	119.875	95.81813649
-0.675	120.025	84.54000674
-0.825	120.025	86.60873987
-0.975	120.025	108.390299
-1.125	120.025	114.9358165
-1.275	120.025	99.94463735
-1.425	120.025	96.01806424
-1.575	120.025	81.07963259
-1.725	120.025	66.47999553
-1.875	120.025	74.77031929
-2.025	120.025	80.05821774
-2.175	120.025	88.26659185
-2.325	120.025	68.74746374
-2.475	120.025	62.35576167
-2.625	120.025	68.07405127
-0.675	120.175	37.10225447
-0.825	120.175	39.20822585
-0.975	120.175	94.94514545
-1.125	120.175	92.76084672
-1.275	120.175	99.5996275
-1.425	120.175	99.86692388
-1.575	120.175	83.3157122
-1.725	120.175	69.55034316
-1.875	120.175	57.46660861

-2.025	120.175	59.81241849
-2.175	120.175	57.64190126
-2.325	120.175	61.15570352
-2.475	120.175	48.00293003
-2.625	120.175	63.16240974
-0.675	120.325	73.99675472
-0.825	120.325	93.22698537
-0.975	120.325	107.9384013
-1.125	120.325	102.1599274
-1.275	120.325	85.42700723
-1.425	120.325	92.76602117
-1.575	120.325	98.41093674
-1.725	120.325	77.17571444
-1.875	120.325	49.88096376
-2.025	120.325	55.84058275
-2.175	120.325	57.18205863
-2.325	120.325	59.94808509
-2.475	120.325	55.77447873
-2.625	120.325	93.76493108
-0.675	120.475	74.04913621
-0.825	120.475	93.33200408
-0.975	120.475	108.1048285
-1.125	120.475	103.8854727
-1.275	120.475	83.27165551
-1.425	120.475	77.47717625
-1.575	120.475	74.71239435
-1.725	120.475	77.72421998
-1.875	120.475	63.47513428
-2.025	120.475	78.7205933
-2.175	120.475	84.54783851
-2.325	120.475	49.78211548
-2.475	120.475	50.35202236
-2.625	120.475	69.5580861
-0.675	120.625	67.26874032
-0.825	120.625	80.78718486
-0.975	120.625	91.09798349
-1.125	120.625	91.56282819
-1.275	120.625	77.07043133
-1.425	120.625	66.66772598
-1.575	120.625	91.73982563
-1.725	120.625	134.0759721
-1.875	120.625	77.87114647
-2.025	120.625	59.48880235
-2.175	120.625	61.76328651
-2.325	120.625	55.36966877
-2.475	120.625	53.98210369
-2.625	120.625	46.10028468
-0.675	120.775	57.78104501
-0.825	120.775	65.85102851
-0.975	120.775	72.96940961

-1.125	120.775	73.20404421
-1.275	120.775	65.18234291
-1.425	120.775	69.71558638
-1.575	120.775	77.29109349
-1.725	120.775	91.36710696
-1.875	120.775	68.75323835
-2.025	120.775	61.74311122
-2.175	120.775	87.05441174
-2.325	120.775	71.97601877
-2.475	120.775	67.75423395
-2.625	120.775	45.16038673
-0.675	120.925	48.76780507
-0.825	120.925	53.49664706
-0.975	120.925	57.23455566
-1.125	120.925	57.34966535
-1.275	120.925	53.17609737
-1.425	120.925	52.41093334
-1.575	120.925	71.23493614
-1.725	120.925	92.00412639
-1.875	120.925	66.24153438
-2.025	120.925	57.20623981
-2.175	120.925	84.44901571
-2.325	120.925	80.67058394
-2.475	120.925	60.50260576
-2.625	120.925	42.96116079
-0.675	121.075	41.25793841
-0.825	121.075	44.12445106
-0.975	121.075	45.77835541
-1.125	121.075	45.83961329
-1.275	121.075	43.55218923
-1.425	121.075	45.54823123
-1.575	121.075	62.61003968
-1.725	121.075	73.54766783
-1.875	121.075	58.86183411
-2.025	121.075	48.56866786
-2.175	121.075	60.61313927
-2.325	121.075	59.41151046
-2.475	121.075	46.84277315
-2.625	121.075	38.95907414
-0.675	121.225	35.25206246
-0.825	121.225	37.07107627
-0.975	121.225	37.93110894
-1.125	121.225	37.63431546
-1.275	121.225	36.25127677
-1.425	121.225	37.99547955
-1.575	121.225	46.06510212
-1.725	121.225	49.53660542
-1.875	121.225	44.59116473
-2.025	121.225	37.85156241
-2.175	121.225	42.62401781

-2.325	121.225	42.22328262
-2.475	121.225	37.02441365
-2.625	121.225	32.34940602
-0.675	121.375	30.47905013
-0.825	121.375	31.6855871
-0.975	121.375	32.24260573
-1.125	121.375	32.05163856
-1.275	121.375	31.14731368
-1.425	121.375	30.64940585
-1.575	121.375	34.49536971
-1.725	121.375	35.87962128
-1.875	121.375	33.86175444
-2.025	121.375	29.76277507
-2.175	121.375	31.88275376
-2.325	121.375	31.71225546
-2.475	121.375	29.28162485
-2.625	121.375	26.35218846
-0.675	121.525	26.65918752
-0.825	121.525	27.49145873
-0.975	121.525	27.86948748
-1.125	121.525	27.74055187
-1.275	121.525	27.12299752
-1.425	121.525	26.09953412
-1.575	121.525	26.93304795
-1.725	121.525	27.59850489
-1.875	121.525	26.61914401
-2.025	121.525	24.42101779
-2.175	121.525	25.05674111
-2.325	121.525	24.97104758
-2.475	121.525	23.68748233
-2.625	121.525	21.67456431
-0.675	121.675	23.56621909
-0.825	121.675	24.16003417
-0.975	121.675	24.42667146
-1.125	121.675	24.3361268
-1.275	121.675	23.89875461
-1.425	121.675	23.16219563
-1.575	121.675	22.19818427
-1.725	121.675	22.1561641
-1.875	121.675	21.61820949
-2.025	121.675	20.3425912
-2.175	121.675	20.42053446
-2.325	121.675	20.37229605
-2.475	121.675	19.62685535
-2.625	121.675	18.37301818
-0.675	121.825	21.02945326
-0.825	121.825	21.46555693
-0.975	121.825	21.65975279
-1.125	121.825	21.59406966
-1.275	121.825	21.27466701

-1.425	121.825	20.73032514
-1.575	121.825	20.00578225
-1.725	121.825	19.15270984
-1.875	121.825	18.22145899
-2.025	121.825	17.91444557
-2.175	121.825	17.48347328
-2.325	121.825	17.07163509
-2.475	121.825	16.60605481
-2.625	121.825	15.79378641
-0.675	121.975	18.92255741
-0.825	121.975	19.25087672
-0.975	121.975	19.39617637
-1.125	121.975	19.34721717
-1.275	121.975	19.10782835
-1.425	121.975	18.6961204
-1.575	121.975	18.14093658
-1.725	121.975	17.47681442
-1.875	121.975	16.73900277
-2.025	121.975	15.95966064
-2.175	121.975	15.5928887
-2.325	121.975	15.05560587
-2.475	121.975	14.35540329
-2.625	121.975	13.74789359

