

**ANALISIS KERENTANAN CAGAR BUDAYA DI PROVINSI SULAWESI
BARAT MENGGUNAKAN FREKUENSI RASIO TERHADAP KEJADIAN
GEMPA BUMI**



**MUHAMMAD NUR AKRAM A.N
F071181312**



**PROGRAM STUDI ARKEOLOGI
FAKULTAS ILMU BUDAYA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS KERENTANAN CAGAR BUDAYA DI PROVINSI SULAWESI
BARAT MENGGUNAKAN FREKUENSI RASIO TERHADAP KEJADIAN
GEMPA BUMI**

MUHAMMAD NUR AKRAM A.N

F071181312



**PROGRAM STUDI ARKEOLOGI
FAKULTAS ILMU BUDAYA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

**ANALISIS KERENTANAN CAGAR BUDAYA DI PROVINSI SULAWESI
BARAT MENGGUNAKAN FREKUENSI RASIO TERHADAP KEJADIAN
GEMPA BUMI**

MUHAMMAD NUR AKRAM A.N

F071181312

Skripsi

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana

Program Studi Arkeologi

Pada

**PROGRAM STUDI ARKEOLOGI
FAKULTAS ILMU BUDAYA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2024**

SKRIPSI**ANALISIS KERENTANAN CAGAR BUDAYA DI PROVINSI SULAWESI
BARAT MENGGUNAKAN FREKUENSI RASIO TERHADAP KEJADIAN
GEMPA BUMI**

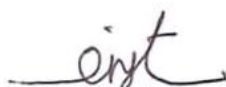
Disusun dan diajukan oleh

MUHAMMAD NUR AKRAM A.N
F071181312

Telah dipertahankan di depan panitia ujian skripsi
Pada tanggal 16 Agustus 2024
Dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Pembimbing,

Pembimbing I



Dr. Yadi Mulvadi. M.A.

Nip: 198003192006041003

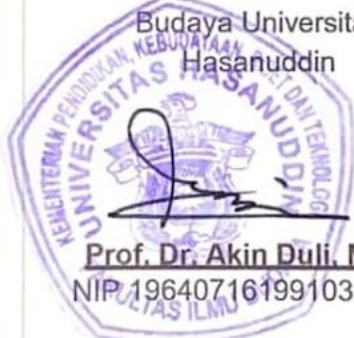
Pembimbing II



Ilham Alimuddin. S.T., M.Gis. Ph.D.

Nip: 196908251999031001

Dekan Fakultas Ilmu
Budaya Universitas
Hasanuddin



Prof. Dr. Akin Duli. M.A.

NIP. 196407161991031010

Ketua Departemen Arkeologi
Fakultas Ilmu Budaya
Universitas Hasanuddin



Dr. Rosmawati. M.Si.

NIP 197205022005012002

UNIVERSITAS HASANUDDIN
FAKULTAS ILMU BUDAYA

Pada hari Jumat, 16 Agustus 2024 Panitia Ujian Skripsi menerima dengan baik Skripsi yang berjudul :

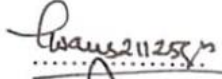
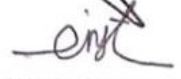
**ANALISIS KERENTANAN CAGAR BUDAYA DI PROVINSI SULAWESI
BARAT MENGGUNAKAN FREKUENSI RASIO TERHADAP KEJADIAN
GEMPA BUMI**

Yang diajukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat ujian skripsi guna memperoleh gelar Sarjana Humaniora pada Departemen Arkeologi Fakultas Ilmu Budaya Universitas Hasanuddin.



20 Agustus 2024

Panitia Ujian Skripsi

- | | | | |
|----|-------------------------------------|---------------|--|
| 1. | Dr. Yadi Mulyadi, M.A. | Ketua |  |
| 2. | Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis., Ph.D | Sekretaris |  |
| 3. | Drs. Iwan Sumantri, M.A., M.Si. | Penguji I |  |
| 4. | Dr. Supriadi, M.A. | Penguji II |  |
| 5. | Dr. Yadi Mulyadi, M.A. | Pembimbing I |  |
| 6. | Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis., Ph.D | Pembimbing II |  |

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul "Analisis Kerentanan Cagar Budaya di Provinsi Sulawesi Barat Menggunakan Frekuensi Rasio Terhadap Kejadian Gempa Bumi" adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing Dr. Yadi Mulyadi, S.S., M.A. sebagai Pembimbing Utama dan Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis, Ph.D. sebagai Pembimbing Pendamping. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin



, Agustus 2024

Muhammad Nur Akram A.N
F071181312

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur senantiasa penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, karena dengan limpahan rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Sejarah merupakan rangkain peristiwa yang berkesinambungan, dari masa lalulah kita belajar untuk memprediksi masa depan, sejarah akan terus berulang sehingga perlunya mengingat beberapa peristiwa masa silam, dengan penuh kesadaran akan pentingnya sebuah bukti sejarah, tidak ada maksud lain skripsi ini ditulis atas dasar keprihatinan yang mendalam terhadap tragedi gempa yang sering melanda dikawasan pesisir Indonesia. Betapa tidak, setiap saat gempa menghantui masyarakat yang bermukim pada daerah yang rentan di negeri ini. Terkhusus benda-benda arkeologis yang terkandung nilai penting didalamnya.

Penulis menyadari dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari berbagai kendala, tetapi berkat bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Penelitian ini dapat terlaksana dengan sukses dan dapat terampungkan atas bimbingan, diskusi dan arahan Dr. Yadi Mulyadi, S.S., M.A. dan Ilham Alimuddin, S.T., M.Gis, Ph.D. Saya mengucapkan berlimpah terima kasih kepada mereka.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampikan kepada Bapak dan Ibu Dosen Departemen Arkeologi yang telah memberikan banyak ilmu yang bermanfaat, staff administrasi yang telah membantu dalam pengurusan administrasi penulis, serta berbagai instansi yang mendukung selama pelaksanaan penelitian ini Balai Pelestarian Kebudayaan Wilayah XVIII, Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu Provinsi Sulawesi Barat, Kepala Dinas Pendidikan dan Kebudayaan Provinsi Sulawesi Barat, Bupati Mamuju, Bupati Majene, Bupati Mamasa dan Bupati Polewali Mandar.

Terima kasih kepada semua organisasi tempat penulis belajar dan telah menjadi rumah selama ini, Keluarga Besar Korpala UNHAS terkhusus Pimpinan Operasi Muhammd Muhshiy K.P yang banyak membantu dalam penelitian ini serta saudara-saudara saya Pendidikan Dasar XXXIII. Keluarga Besar KAISAR FIB-UH terkhusus teman-teman Pottery 2018, serta Keluarga Besar KMP-UNHAS terkhusus teman-teman angkatan 2018.

"Special Thank's"

Kepada keluarga besar saya, terkhusus kepada kedua orang tua tercinta Ibu NURSIAH S.Pd., M.Pd. dan Ayah ANWAR B.M saya mengucapkan limpah terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan motivasi mereka selama saya menempuh pendidikan.

Akhir kata tiada gading yang tak retak, penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, segala masukan dan kritikan sangat berarti agar skripsi ini menjadi lebih sempurna di kemudian hari.

Penulis

Muhammad Nur Akram A.N

ABSTRAK

MUHAMMAD NUR AKRAM A.N. **Analisis Kerentanan Cagar Budaya Di Provinsi Sulawesi Barat Menggunakan Frekuensi Rasio Terhadap Kejadian Gempa Bumi** (dibimbing oleh Yadi Mulyadi dan Ilham Alimuddin)

Latar Belakang. Sulawesi Barat memiliki resiko bencana alam yang tinggi dengan jumlah kejadian yang tinggi pula, bangunan yang berada didaerah rawan gempa perlu dilakukan upaya perlindungan, salah satu jenis bangunan yang memiliki risiko tinggi adalah bangunan cagar budaya, Sumber daya budaya seperti benda-benda arkeologis memiliki nilai penting yang tinggi sebagai media pendidikan, tujuan wisata, dan untuk menjaga stabilitas serta ketahanan budaya. **Tujuan.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor kausatif gempa bumi terhadap kerentanan cagar budaya, dengan terlaksananya penelitian ini kita dapat mengetahui cagar budaya yang rentan terhadap gempa bumi di Sulawesi Barat. **Metode.** Penelitian ini menggunakan model *Frekuensi Rasio* (FR) yang diintegrasikan dengan *Fuzzy Logic* (FL) kemudian dipadukan dengan kurva ROC untuk validasi data, **Hasil.** Hasil penelitian ini mengklasifikasikan kerentanan cagar budaya ke dalam tiga kategori: sangat rentan, sedang, dan tidak rentan, terdapat 48 objek yang termasuk dalam kategori sangat rentan, 20 objek dalam kategori sedang, dan dua objek yang tidak rentan dari total 70 objek cagar budaya, model FR menunjukkan bahwa litologi, jarak dari permukiman, dan kepadatan permukiman merupakan faktor utama yang memengaruhi kerentanan cagar budaya, diikuti oleh jarak dari jalan, magnitudo, jarak dari sesar, dan jarak dari episentrum. Hasil model menunjukkan nilai *AUC Success* 0,753 dan *AUC Predictive* 0,598.

Kata Kunci: *Kerentanan Cagar Budaya, Frekuensi Rasio, Gempa Bumi.*

ABSTRACT

MUHAMMAD NUR AKRAM A. N. (*Susceptibility Analysis of Cultural Heritage in West Sulawesi Province Using Frequency Ratio to Earthquake*) (supervised by Yadi Mulyadi and Ilham Alimuddin)

Background of research. West Sulawesi has a high risk of natural disasters with a similarly large number of recorded incidents. Buildings located in earthquake-prone areas need to be protected. One of the building types that has high risk is cultural preservation structures. Cultural resources, such as archaeological objects, have superior importance as a medium of education, tourist destinations, and maintaining stability and resilience. **Objective.** This research purpose is to analyze the causality of earthquake factors toward culture preservation susceptibility. With the implementation of this research, we can find out which are susceptible to earthquakes in West Sulawesi. **Methods.** This research uses Frekuensi Ratio (FR) model integration with fuzzy logic (FL) afterward and is combined with the ROC curve for data validation. **Results.** This research classifies the Susceptibility of cultural heritage into three categories: highly, moderate, and low. There are 48 objects, including the category of the most susceptible, 20 objects in the medium category, and two objects that are not susceptible, from the whole number of 70 cultural heritage sites, the FR model showed that lithology, range from settlement, distance from habitation, and settlement density are the main factors affecting the Susceptibility of cultural heritage objects, followed by distance from roads, magnitude, distance from fault, and distance from the epicenter. The model results show an AUC Success value of 0.753 and an AUC Predictive value of 0.598.

Keywords: Cultural Heritage Susceptibility, Frequency Ratio, Earthquake.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	v
UCAPAN TERIMA KASIH	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tinjauan Pustaka	2
1.3. Permasalahan Penelitian	5
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	5
1.5. Signifikansi Hasil Penelitian yang diharapkan	6
BAB II METODE PENELITIAN	7
2.1. Waktu dan Tempat Penelitian	7
2.2. Teknik Pengumpulan Data	8
2.3. Analisis Data	10
2.4. Validasi Data	11
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	12
3.1. Inventarisasi Cagar Budaya	12
3.2. Frekuensi Rasio	16
3.3. Fuzzy Logic	24
3.4. Validasi Kurva <i>Receiver Operating Characteristic</i> (ROC)	27
3.5. Sosialisasi Pixel <i>Cultural Heritage Susceptibility Mapping</i> (CHSM)	28
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	31
4.1. Kesimpulan	31
4.2. Saran	31
DAFTAR PUSTAKA	32

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1	Inventarisasi Objek Cagar Budaya Balai Pelestari Kebudayaan.	13
2	Hasil perhitungan Frekuensi Rasio (FR) faktor penyebab kerentanan Cagar Budaya.....	16
3	Nilai kurva AUC hasil validasi ROC pemodelan kerentanan cagar budaya dengan10 kali pengulangan.....	28
4	Jumlah Kerentanan Cagar Budaya dari hasil CHSM.....	29

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1	Peta Lokasi Penelitian Provinsi Sulawesi Barat.....	7
2	Bagan Alir Penelitian.....	8
3	Peta Sebaran Objek Cagar Budaya.....	12
4	Kerentanan Cagar Budaya hasil observasi lapangan.....	16
5	Luas kelas litologi serta rasio variabel terhadap kerentanan cagar budaya.....	18
6	Luas kelas Jarak dari Sesar serta rasio variabel terhadap kerentanan cagar budaya.....	19
7	Luas kelas Jarak dari Episentrum serta rasio variabel terhadap kerentanan cagar budaya.....	20
8	Luas kelas Magnitudo serta rasio variabel terhadap kerentanan cagar budaya.....	21
9	Luas kelas Jarak dari Jalan serta rasio variabel terhadap kerentanan cagar budaya.....	22
10	Luas kelas Jarak dari Permukiman serta rasio variabel terhadap kerentanan cagar budaya.....	23
11	Luas kelas Kepadatan Permukiman serta rasio variabel terhadap kerentanan cagar budaya.....	24
12	FRFL Indeks Seismik.....	25
13	FRFL Indeks Antropogenik.....	26
14	FRFL Indeks <i>Cultural Heritage Susceptibility Index</i> (CHSI).....	27
15	Kurva AUC hasil validasi ROC pemodelan kerentanan cagar budaya dengan 10 kali pengulangan (AUC Succes (ROC Validasi 1) dan AUC Predictive (ROC Validasi 2)).....	28
16	Peta Kerentanan Cagar Budaya dari hasil klasifikasi <i>Natural Breaks</i> CHSI Iterasi 1.....	29

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor		Halaman
1	Tabel hasil inventarisasi cagar budaya BPK di Sulawesi Barat yang berjumlah 90 titik dan dokumentasi hasil observasi lapangan.....	36
2	Hasil observasi lapangan.....	44
3	Hasil perhitungan frekuensi rasio (FR).....	50
4	Peta faktor kausatif kerentanan cagar budaya dari masing-masing variabel.litologi, jarak dari sesar, jarak dari episentrum, magnitudo, jarak dari jalan, jarak dari permukiman dan kepadatan permukiman.....	51
5	Hasil <i>Fuzzy Logic</i> indeks seismik, indeks antropogenik, dan indeks kerentanan <i>Cultural Heritage Susceptibility Indeks</i> (CHSI).....	58
6	Hasil validasi untuk semua pengulangan. Kurva ROC, AUC Succes (70%) dan AUC predictive (30%).....	61
7	Peta dan tabel sebaran hasil model (Sosialisasi Piksel) <i>Cultural Heritage Susceptibility Mapping</i> (CHSM).....	64
8	Definisi Operasional	68

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Bencana alam merupakan ancaman besar terhadap warisan budaya. Banjir, gempa bumi, kebakaran, dampak iklim jangka panjang terkadang menyebabkan kerusakan terhadap warisan budaya atau menghancurkan seluruh kawasan budaya, baik yang bergerak maupun yang tidak bergerak. Ada banyak kasus kerusakan yang terjadi akibat faktor tersebut, sehingga berdampak besar pada banyak hal tentunya.

Sulawesi Barat memiliki resiko bencana alam yang tinggi dengan jumlah kejadian yang tinggi pula, berdasarkan laporan dari BNPB Tahun 2022 Sulawesi Barat memiliki beberapa jenis ancaman bencana di antaranya gempa bumi, tsunami, banjir, tanah longsor, kebakaran hutan dan lahan, kekeringan, gelombang ekstrim dan abrasi. Berdasarkan jenis ancaman bencana tersebut tujuh termasuk kelas tinggi dan satu sedang. Potensi kerugian jiwa dan material tertinggi pada bencana gempa bumi (Alias dan Yunus, 2020).

Manusia sering lupa atau melupakan bahwa bumi juga menyimpan potensi bencana (Nur, 2010). Sejarah kelam gempa dan tsunami Aceh 2004, Nias 2005, Jawa Barat 2006, Bengkulu 2007 dan Palu 2018 itu bisa terjadi lagi dikawasan pesisir Indonesia lainnya. Betapa tidak, ternyata dibalik begitu banyaknya potensi sumberdaya alam di laut kita, Indonesia berada dalam satu Kawasan yang terletak pada daerah pertemuan tiga lempeng bumi (*triple junction plate convergance*). Ketiga lempeng itu Eurasia, Samudra Pasifik dan Indo-Australia. Pertemuan tiga lempeng tektonik besar tersebut sangat tidak menguntungkan bagi Indonesia. Betapa tidak, setiap saat gempa menghantui warga yang bermukim di Pulau Sumatera, Jawa, Bali, NTB, NTT, Maluku, Sulawesi dan Papua (Disaptono, 2008).

The present is the key to the past merupakan hukum uniformitarianism. Hukum ini menekankan bahwa apa yang terjadi hari ini juga pernah terjadi pada masa lalu. Hukum ini juga selalu diaplikasikan dalam keilmuan geologi modern, sehingga dalam perspektif ini peristiwa-peristiwa geologi dimasa sekarang diasumsikan sudah pernah terjadi di masa lalu (Noor, 2014). Dari peristiwa yang terjadi maka bangunan yang berada didaerah rawan gempa perlu dilakukan upaya perlindungan, salah satu bangunan yang memiliki tingkat resiko tinggi yaitu bangunan cagar budaya (bangunan non-engineered).

Menurut Darvill (1987) sumberdaya budaya adalah benda-benda arkeologis memiliki nilai penting yang tinggi untuk media pendidikan, tujuan wisata, ataupun dalam menjaga stabilitas dan ketahanan budaya. Upaya penyelamatan diprioritaskan bagi cagar budaya yang sekarang terancam. Pengoptimalan pelestarian Cagar Budaya di daerah Sulawesi Barat diupayakan menumbuhkan kesadaran untuk menjaga salah satu warisan budaya, maka kajian pelestarian objek arkeologi terhadap bencana alam penting untuk dilakukan, beranjak pada kurangnya penelitian-penelitian yang berkaitan dengan dampak kerentanan gempa bumi terhadap cagar budaya. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada rasio kerentanan cagar budaya.

1.2. Tinjauan Pustaka

- **Mengenal Kerentanan Cagar Budaya**

Dalam konvensi warisan dunia oleh Unesco, secara garis besar warisan budaya terdiri dari monumen, kumpulan bangunan dan situs. Monumen mencakup karya patung dan lukisan yang monumental, karya arsitektur, elemen atau struktur yang bersifat arkeologis, prasasti, gua hunian dan kombinasi ciri-ciri yang memiliki nilai universal dan luar biasa dari sudut pandang sejarah, seni atau sains. Kumpulan bangunan mencakup kumpulan bangunan terpisah atau terhubung yang karena arsitektur, homogenitas, atau tempatnya dalam lansekap, memiliki nilai universal luar biasa dari sudut pandang sejarah, seni atau sains. Situs mencakup karya manusia atau gabungan antara karya manusia dengan karya alam dan kawasan yang termasuk situs arkeologis yang memiliki nilai universal luar biasa dari sudut pandang sejarah, estetika, etnologi atau antropologi (Unesco, 2005: 22).

Di Indonesia, istilah yang digunakan untuk merujuk pada warisan budaya atau peninggalan arkeologis yang dilindungi oleh hukum adalah 'cagar budaya'. Istilah ini mulai digunakan sejak tahun 1992 (Wibowo, 2014). Menurut UU No. 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya, Pasal 1, 'Cagar Budaya adalah warisan budaya berbentuk benda, bangunan, struktur, situs, atau kawasan yang terletak di darat atau di air, dan perlu dilestarikan karena memiliki nilai penting dalam sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, dan/atau kebudayaan melalui proses penetapan.' Dengan definisi ini, cagar budaya mencakup benda cagar budaya, bangunan cagar budaya, struktur cagar budaya, situs cagar budaya, serta kawasan cagar budaya. Pemodelan dapat dianggap sebagai pendekatan sintesis untuk memformalkan pengetahuan yang ada tentang ilmu sistem bumi.

Pemodelan numerik merupakan satu-satunya cara untuk mensimulasikan evolusi dan interaksi di antara bidang-bidang sistem bumi yang kompleks dan luas. Melalui pemodelan numerik, konseptualisasi kualitatif sistem bumi dapat diubah menjadi pemahaman kuantitatif. Model mampu mereproduksi keadaan masa lalu dan meramalkan keadaan masa depan (Reid dkk, 2010; Weaver dkk, 2013; Li dkk, 2018). Lebih jauh lagi, model dapat membantu peneliti, pemangku kepentingan, dan pengambil keputusan mengusulkan tindakan pencegahan sebelum kemungkinan perubahan di masa depan berdasarkan skenario nyata dan hipotesis. Dalam hal ini, pemodelan numerik juga merupakan alat yang sangat diperlukan untuk mencapai keberlanjutan.

Kerentanan bencana dalam Cagar Budaya adalah kelemahan-kelemahan yang dialami Cagar Budaya dalam menghadapi datangnya bencana. Dengan kondisi fisik, lokasi, faktor ekonomi, sosial, teknologi, manajemen dan lingkungan yang menyebabkan ketidakmampuan cagar budaya menghadapi ancaman bahaya (Fallah, 2020). Beberapa kasus kerusakan cagar budaya akibat gempa bumi, pada Senin 6 Februari 2023 Gempa bermagnitudo 7,7 mengguncang Turki hingga Suriah. Bencana ini meruntuhkan ribuan bangunan termasuk Situs bersejarah yang berusia ratusan tahun di Turki, Kastil Gaziantep, rusak parah imbas gempa bumi.

Di Indonesia sendiri, Dari laporan Balai Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) yang sekarang menjadi BPK Balai Pelestari Kebudayaan Provinsi Jawa Tengah, gempa berkekuatan 5,9 SR yang melanda Jawa Tengah pada 27 Mei 2006 menyebabkan beberapa objek arkeologis mengalami kerusakan akibat gempa bumi, diantaranya Kompleks Candi Sewu, Kompleks Candi Lumbung, Kompleks Candi Plaosan, Candi Sojiwan, serta cagar budaya di Kawasan Bayat. Lanjut di Sulawesi Barat khususnya gempa bumi yang mengguncang Kab.Mamuju tahun 2021 mengakibatkan beberapa objek arkeologi yang merasakan dampaknya, bukan hanya bangunan milik warga runtuh akibat guncangan yang dihasilkan. Kompleks makam pentana bali yang berada dikota Mamuju mengalami kerusakan parah akibat gempa tersebut dan khususnya makam-makam yang memiliki jirad betingkat. Kasus lain Masjid Abadan (Masjid tertua di Sulawesi Barat) yang berada didaerah Balanipa Polewali Mandar turut hancur akibat gempa bumi, bangunan Masjid rata dengan tanah akibat aktivitas tektonik. Maka dari itu dengan kondisi fisik, lokasi, faktor ekonomi, sosial, teknologi, manajemen dan lingkungan yang menyebabkan ketidakmampuan Cagar Budaya menghadapi ancaman bahaya (Fallah, 2020).

Cagar Budaya terkadang rentan terkena berbagai masalah yang berkaitan dengan persoalan kerusakan dan pelapukan, Penyebab kerentanan tersebut bisa dilatarbelakangi oleh beberapa faktor seperti Biotis dan Abiotis, Faktor tersebut umumnya disebabkan pengaruh lingkungan (Yanuari, 2009). Secara teori penyebab kerusakan dapat dibagi menjadi dua jenis, pertama kerusakan fisik (*physical damage*) dan yang kedua adalah pelapukan baik fisik maupun kimiawi (*physical and chemical deterioration*).

Semua pihak harus memahami sepenuhnya kondisi dan arti penting suatu cagar budaya serta mengetahui betul jenis dan intensitas pengaruh sebagai dampak kerentanannya. Setelah mengetahui pentingnya menjaga cagar budaya, maka sudah dapat dipastikan bahwa akan ada objek arkeologi yang harus mendapat tindakan pelestarian (Suantika, 2012) pada hakekatnya objek arkeologi tersebut merupakaninggalan yang memiliki nilai yang harus dilestarikan dan diwarisi dari satu generasi kegenerasi berikutnya dan juga merupakan bukti sejarah peradaban suatu bangsa, umat manusia bahkan merupakan warisan dunia, yang harus dilindungi, dikembangkan, dan dimanfaatkan untuk kepentingan ilmu pengetahuan, serta kemanusiaan khususnya. Cagar budaya tidak hanya menceritakan peradaban suatu masyarakat dalam suatu wilayah, tetapi juga perwujudan peradaban umat manusia (Wibowo, 2014).

- **Pendekatan Statistik-Spasial dan Sosialisasi Piksel**

Kerentanan cagar budaya dapat diidentifikasi melalui observasi langsung kelapangan. Inventarisasi cagar budaya dapat diperoleh melalui data yang tersedia dari instansi terkait. Intrusi teknologi *machine learning* di era pemodelan telah menawarkan peluang baru dalam mengevaluasi kekurangan dan kelebihan model kerentanan cagar budaya. Lebih jauh lagi ketika pemodelan mampu memprediksi secara akurat sensitivitas faktor kausatif terhadap kerentanan cagar budaya kelak akan sangat membantu dalam pengelolaan mitigasi Cagar Budaya sesuai amanat UU No.11 Tahun 2010. Studi Reichenbach dkk, (2018) menuturkan terdapat

beragam metode pemodelan yang digunakan dalam menentukan tingkat kerentanan cagar budaya, sebagian besar cenderung pada penilaian kuantitatif statistik. Metode standar yang seringkali digunakan seperti Frekuensi Rasio (FR) merupakan metode analisis yang membandingkan frekuensi kejadian dari berbagai peristiwa atau kategori dalam data. (Lihat Lampiran 8. Definisi Operasional)

Perkembangan dalam teknologi informasi, termasuk perangkat keras dan perangkat lunak seperti Sistem Informasi Geografis (SIG) dan penginderaan jauh, dapat menawarkan solusi untuk berbagai masalah terkait pemetaan dan pemodelan lingkungan. Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem berbasis komputer yang dirancang untuk mengolah, menganalisis, dan mengimpor data geografis, dan telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Keunggulan SIG terletak pada kemampuannya untuk memudahkan pengguna atau pengambil keputusan dalam membuat keputusan yang berkaitan dengan aspek spasial (Nurmalasari dan Santosa, 2018). Kemampuan ini membedakan SIG dari sistem informasi lainnya, menjadikannya lebih berguna dalam memberikan informasi yang akurat mengenai kondisi dunia nyata, memprediksi hasil, dan perencanaan strategis.

Penginderaan jauh adalah teknologi yang digunakan untuk memperoleh dan menganalisis informasi tentang permukaan bumi melalui pengukuran pancaran sinar elektromagnetik yang dipantulkan oleh permukaan tersebut. Teknologi ini melibatkan perekaman dan pengukuran kekuatan elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan oleh bumi dan atmosfer pada berbagai titik. Penginderaan jauh juga dapat didefinisikan sebagai ilmu dan seni yang memperoleh data dari area tertentu dengan menggunakan alat yang tidak berhubungan langsung dengan area atau fenomena yang sedang diteliti. Dengan demikian, penginderaan jauh adalah metode untuk mendapatkan informasi tentang permukaan bumi menggunakan satelit atau pesawat terbang, menghasilkan data dalam bentuk citra (Somantri, 2008). Data yang terekam oleh sensor dikirim ke stasiun penerima dan diproses menjadi format yang siap digunakan, seperti citra. Citra ini kemudian diinterpretasi untuk mendapatkan informasi tentang target, baik secara visual maupun digital dengan bantuan perangkat lunak pengolah citra. Menurut Sutanto (2009), citra penginderaan jauh memungkinkan penggambaran objek dan fenomena di permukaan bumi dengan detail yang mirip dengan kenyataan, mencakup area yang luas dan permanen.

Kedua teknologi ini sangat berguna dalam pengelolaan informasi spasial mengenai kondisi permukaan bumi. Oleh karena itu, integrasi teknologi ini semakin umum untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam pemetaan, serta untuk mendukung perencanaan dan pengelolaan wilayah (Danoedoro, 2012). Penginderaan jauh juga digunakan untuk mengevaluasi kerusakan akibat bencana alam, seperti gempa bumi, dengan menganalisis data menggunakan Sistem Informasi Geografis.

- **Relasi Faktor Seismik dan Antropogenik Terhadap Kerentanan Cagar Budaya**

Gempa Bumi dapat terjadi dimana saja: wilayah pesisir Indonesia ibarat pisau bermata dua. Disatu sisi memiliki berbagai potensi, namun disisi lain kawasan ini juga rawan gempa. Fakta menunjukkan, selama setengah abad lalu kawasan pesisir

Indonesia mengalami puluhan gempa yang merusak (Disaptono, 2008). Penelitian ini membagi variabel yang berkontribusi terhadap kerentanan situs cagar budaya menjadi dua, faktor pemicu (eksternal) dan faktor kontrol (internal). Memandang kejadian kerusakan situs cagar budaya secara spesifik pada skala regional atau nasional menjadi penting agar perencanaan manajemen dan mitigasi bencana tepat sasaran. Tidak hanya skala ruang yang spesifik, penelitian skala temporal juga penting untuk memetakan kecenderungan variabel penyebab serta pemicu kerentanan cagar budaya.

Faktor Seismik menyebabkan deformasi pada kerak bumi, baik secara horizontal maupun vertikal, yang dapat dibagi dalam tahapan interseismik, praseismik, koseismik, dan pascaseismik. Aktivitas seismik di Indonesia bervariasi karena keunikan tata tektoniknya, seperti di Pulau Sulawesi yang memiliki tekanan dari berbagai lempeng tektonik, menyebabkan kompleksitas aktivitas seismik di daerah tersebut. Litologi daerah menunjukkan adanya batuan Neogen, beku, metamorf, serta pluton granit dan ofiolit, menandakan aktivitas tektonik aktif. Jarak dari sesar dan episentrum berpengaruh besar terhadap risiko gempa bumi, di mana semakin dekat jarak tersebut, semakin besar potensi terjadinya gempa dan dampaknya. Magnitudo gempa, yang diukur dengan skala Richter atau sejenisnya, juga berperan penting dalam menentukan tingkat kerusakan dan dampak bencana.

Faktor Antropognrik pemukiman adalah bagian dari lingkungan hidup diluar dari wilayah lindung yang berfungsi sebagai lingkungan tempat tinggal atau lingkungan hunian dan tempat tinggal yang mendukung perikehidupan dan penghidupan (Departemen PU, 2009, p. 126) kepadatan pemukiman dan jarak dari pemukiman memiliki pengaruh besar dalam kerentanan situs cagar budaya, dapat menimbulkan vandalisme/corat-corek, goresan, perusakan, pemindahan, dan pencurian.

1.3. Permasalahan Penelitian

Kajian tentang kerentanan cagar budaya masih minim dilakukan, padahal secara geografis daerah yang hampir setiap tahunnya, masyarakat yang bermukim di Sulawesi Barat selalu dihadapkan dengan guncangan gempa bumi yang kemudian akan berdampak pada bangunan yang berada di daerah tersebut, maka dalam penelitian ini dirumuskan permasalahan yaitu:

- Bagaimana analisis kerentanan cagar budaya terhadap gempa bumi menggunakan frekuensi rasio?
- Bagaimanakah tingkat kerentanan gempa bumi terhadap cagar budaya di Sulawesi Barat?

1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis faktor kausatif gempa bumi terhadap kerentanan cagar budaya, dengan terlaksananya penelitian ini kita dapat mengetahui cagar budaya yang rentan terhadap gempa bumi di Sulawesi Barat.

Manfaat penelitian ini sebagai usulan suatu metode dalam upaya perlindungan terhadap cagar budaya sebagai pengembangan model di masa depan berdasarkan skenario nyata dan hipotesis serta mengidentifikasi wilayah yang beresiko tinggi dan

membantu dalam memetakan cagar budaya yang rentan terhadap gempa bumi sebagai upaya peringatan dini untuk perlindungan cagar budaya dan khususnya dapat menyelamatkan nyawa Masyarakat yang berada disekitarnya.

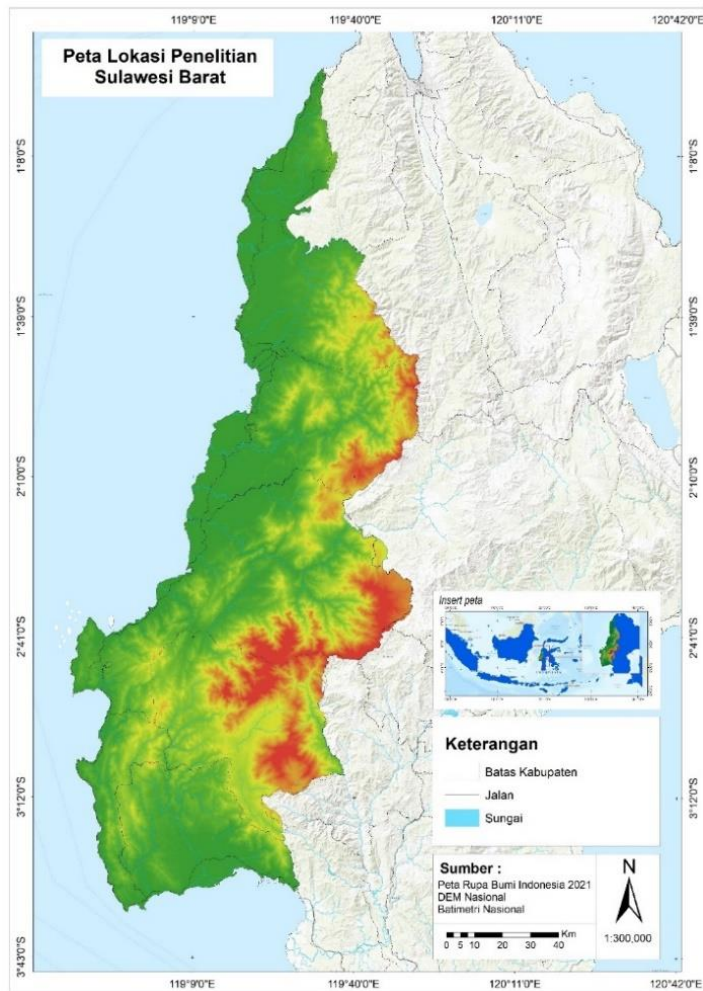
1.5. Signifikansi Hasil Penelitian yang diharapkan

Penelitian ini diharapkan mampu membantu peneliti, pemangku kepentingan, dan pengambil keputusan sebagai pertimbangan bagi pemerintah daerah dan BPK untuk melakukan pelestarian cagar budaya khususnya pada poin perlindungan. Sesuai amanat Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya.

BAB II METODE PENELITIAN

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama Tiga bulan, dari Januari sampai Maret 2024. Lokasi penelitian terletak di Provinsi Sulawesi Barat. Pengelolaan dan Analisis data dilakukan di Kampus Universitas Hasanuddin.

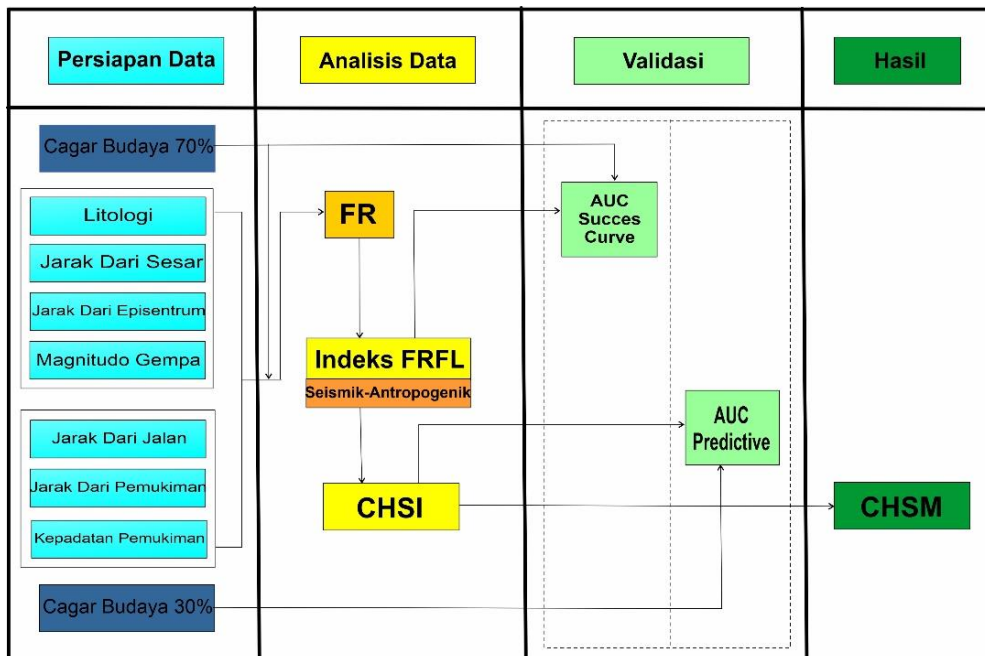


Gambar.1 Peta Lokasi Penelitian Provinsi Sulawesi Barat

Secara astronomis, Provinsi Sulawesi Barat terletak antara $0^{\circ}12'$ - $03^{\circ}38'$ Lintang Selatan (LS) dan $118^{\circ}43'15''$ - $119^{\circ}54'3''$ Bujur Timur (BT). Provinsi Sulawesi Barat terdiri dari enam kabupaten, yaitu : Majene, Polewali Mandar, Mamasa, Mamuju, Pasangkayu, dan Mamuju Tengah. Berdasarkan geografis Provinsi Sulawesi Barat berbatasan dengan, Sulawesi Tengah dibagian Utara, Sulawesi Selatan dibagian Timur dan Selatan, serta Selat Makassar dibagian barat.

2.2. Teknik Pengumpulan Data

Adapun teknik pengumpulan data yang dilakukan dengan cara inventarisasi data cagar budaya dan faktor kausatif kerentanan cagar budaya, kemudian diintegrasikan secara spasial dalam perangkat lunak ArcGIS dan menjadi dua data penting yang digunakan sebagai basis data utama penelitian ini. Pengumpulan dan pengolahan data dapat dilihat pada bagan alir berikut:



Gambar.2 Bagan Alir Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini mencakup pendekatan kuantitatif spasial-statistik dan kualitatif dalam observasi dan penilaian dilapangan, Objek yang dikaji berupa cagar budaya berdasarkan hasil inventarisasi Balai Pelestari Kebudayaan.

Penyebab kerusakan yang berasal dari lingkungan dan bukan berupa unsur biotik disebut abiotik. Faktor yang berperan dalam hal ini adalah Iklim: suhu udara, kelembaban udara, penyinaran, penguapan. Polusi udara: air hujan. Bencana alam: banjir, gempa bumi, kebakaran dan Vandalisme: corat-coret, goresan, perusakan, pemindahan, pencurian (Yanuari, 2009).

2.2.1 Inventarisasi Cagar Budaya

Data cagar budaya pada penelitian ini diperoleh dari Balai Pelestarian Kebudayaan (BPK) Wilayah XVIII yang telah diinventarisasi. Himpunan data tersebut digunakan untuk menghasilkan informasi mengenai sebaran dan variasi objek arkeologi.

2.2.2 Faktor Kausatif Kerentanan Cagar Budaya

Basis data spasial dan mempertimbangkan faktor-faktor penyebab kerentanan cagar budaya, penentuan faktor penyebab kerentanan cagar budaya ditentukan

berdasarkan ketersediaan data, dan kondisi biofisik penelitian. Faktor penyebab kerentanan cagar budaya dalam penelitian ini menggunakan tujuh variabel yang dipartisi dalam dua kategori: (1) Faktor Seismik (litologi, jarak dari sesar, jarak dari episentrum, dan magnitudo gempa); (2) Faktor Antropogenik (jarak dari jalan, jarak dari pemukiman, dan kepadatan pemukiman).

- **Faktor Seismik**

Perkembangan ilmu pengetahuan tentang proses terjadinya gempa bumi tidak lepas dari kondisi litologi di daerah tertentu. Pada beberapa wilayah studi ketahanan litologi ditentukan oleh jenis batuan utama, kondisi tektonik, dan ketahanan mereka terhadap faktor pelapukan (Abedini dan Tulabi, 2018). Lapisan batuan yang membentuk muka bumi ini tidak utuh melainkan terbelah-belah menjadi banyak bagian disebut lempeng bumi, kemudian lempeng-lempeng padat ini bergerak di atas mantel yang cair sehingga saling berpapasan dan bertabrakan (Disaptono, 2008). Batuan yang lebih kuat memberikan ketahanan yang lebih besar terhadap gaya dorong, tapi di sisi yang lain bersifat paradoks pada batuan yang lemah, karenanya rentan terhadap kejadian gempa bumi (Yalci, 2008). Sesar aktif memainkan peran penting pada kerentanan cagar budaya, dari dua sudut pandang. Pertama, mereka merupakan asal mula terjadinya gempa bumi. Kedua, sesar aktif menjadi aktor utama dalam retakan batuan dan menciptakan ketidakstabilan. Diskontinuitas formasi geologi ini bukan hanya mempengaruhi material permukaan tetapi juga berkontribusi terhadap permeabilitas (Soma dan Kubota, 2017). Atas dasar itu, jarak dari sesar digunakan dalam analisis dan pemodelan. Pendekatan *encludiane distance* digunakan untuk menghasikan indeks sesar yang diklasifikasikan dalam lima kelas, jarak aman yang digunakan oleh beberapa negara dan institusi, secara umum digunakan adalah dalam interval 100 meter. Maka jarak dari sesar dalam penelitian ini dibagi menjadi 5 kelas dalam (0-300, 300-600, 600-900, 900-1200 dan >1200). Dalam penelitian ini data digital gempa direpresentasikan ke dalam indeks gempa (SR) dan jarak dari episentrum (m). Indeks gempa dibuat dengan pendekatan interpolasi IDW dan metode klasifikasi *nearest neighbors*. Indeks jarak dari episentrum memanfaatkan *arctoolbox encludiane distance* yang selanjutnya diklasifikasikan ke dalam lima kelas (0-300, 300-600, 600-900, 900-1200 dan >1200).

- **Faktor Antropogenik**

Pemukiman adalah bagian dari lingkungan hidup diluar dari wilayah lindung yang berfungsi sebagai lingkungan tempat tinggal atau lingkungan hunian dan tempat tinggal yang mendukung perikehidupan dan penghidupan (Departemen PU, 2009, p. 126) kepadatan permukiman dan jarak dari permukiman memiliki pengaruh besar dalam kerentanan cagar budaya, dapat menimbulkan vandalisme/corat-corek, goresan, kerusakan, pemindahan, pencurian dan tempat berlindung ketika terjadi bencana. Kedekatan jaringan jalan sering dikaitkan dengan ancaman cagar budaya. Data empirik dan statistik selama rekonstruksi infrastruktur jalan menunjukkan perlunya menggunakan faktor ini. Jaringan jalan diperoleh dari data spasial RBI pada laman BIG, dan ditambahkan secara manual melalui interpretasi visual citra Google

Earth Pro. Indeks jarak dari jalan dibuat menggunakan *encludiane distance* diklasifikasikan menjadi lima kelas (0-150, 150-300, 300-450, 450-600, dan >600) dalam satuan meter (m).

2.3. Analisis Data

Melakukan pendekatan statistik di awal pemodelan menggunakan frekuensi rasio (FR). Pendekatan FR merupakan metode analisis yang membandingkan frekuensi kejadian dari berbagai peristiwa atau kategori dalam data. Pendekatan ini sering digunakan untuk mengukur dan membandingkan probabilitas relatif dari peristiwa-peristiwa yang berbeda, teknik statistik sederhana dengan membagi rasio faktor kejadian gempa bumi dengan rasio luas. FR dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Soma dkk., 2019):

$$Fr = \frac{Pxcl(nm)/\Sigma PnxL}{Pixel(nm)/\Sigma Pnx}$$

Dimana, Pxcl mewakili jumlah piksel kelas dalam faktor kejadian dari parameter m (nm), dan Pixel diartikan sebagai jumlah piksel kelas dari parameter m (nm). Dalam frekuensi rasio Pxcl dan Pixel masing-masing dibagi dengan total piksel dari parameter m ($\Sigma PnxL$) dan keseluruhan piksel dari area kajian (ΣPnx).

Setelah melakukan analisis FR data kemudian digeneralisasi menggunakan *Fuzzy Logic* (FL) merupakan metode logika yang menangani ketidakpastian dan ambiguitas dengan mengizinkan nilai kebenaran dalam rentang kontinu antara 0 dan 1, tidak terbatas pada nilai biner (0 atau 1) seperti dalam logika klasik. (Lihat Lampiran 8. Definisi Operasional). FL salah satu pemodelan yang dapat digunakan untuk menangani masalah ketidaktepatan dalam geografis manajemen basis data, permintaan data, analisis data spasial dan pengembangan sistem pendukung keputusan spasial. Keanggotaan himpunan dari parameter yang telah ditentukan dapat diketahui dengan menggunakan *fuzzy membership* (Wijayanto & Fibriani, 2020). Untuk menjadikan himpunan fuzzy, formulanya adalah:

$$A = \{(x, \mu A(x) \mid x \in X\}$$

Dimana $\mu A(x)$ merupakan nilai prediksi keanggotaan fuzzy x yang direpresentasikan ke dalam interval $\{0, 1\}$. *Fuzzy membership* mengklasifikasikan nilai input antara 0 hingga 1 untuk menjadi anggota himpunan, dengan 0 menunjukkan bahwa data bukan anggota himpunan karena data tidak memenuhi kondisi, sedangkan 1 menunjukkan bahwa data merupakan anggota himpunan karena data sepenuhnya memenuhi kondisi, dan prediksi di antara 0 dan 1 menunjukkan bahwa data berada di beberapa tingkat kemungkinan anggota himpunan (Adhikari & Li, 2013), semakin besar jumlahnya maka semakin besar kemungkinannya. Untuk *tool Fuzzy Membership* pada ArcGIS tersedia beberapa *type membership*, diantaranya: *Gaussian*, *Small*, *Large*, *Near*, *MSSmall*, *MSLarge* dan *Linear*. Pada tahap ini *membership* yang digunakan adalah *type 'Small'*. Fungsi transformasi menggunakan

fuzzy Small ketika nilai input yang lebih kecil cenderung menjadi anggota himpunan (ArcGIS for Desktop, 2016).

2.4. Validasi Data

Pengukuran kinerja algoritma pemodelan merupakan langkah penting dalam semua prediksi berbasis model termasuk *Cultural Heritage Susceptibility Mapping* (CHSM). Pada penelitian ini, *Receiver Operating Characteristic* (ROC) merupakan kurva yang membuat grafik plot sensitivitas (rasio positif benar) terhadap 1-spesifisitas (rasio positif palsu) dengan berbagai ambang atau threshold untuk mengevaluasi model klasifikasi biner (Lihat Lampiran 8. Definisi Operasional). ROC digunakan untuk menilai kinerja algoritma. ROC membuat grafik plot sensitivitas (rasio positif benar) terhadap 1-spesifisitas (rasio positif palsu) dengan berbagai ambang. Indeks dihitung sebagai berikut:

$$AUC = \sum TP + \sum \frac{TN}{P + N}$$

dimana, P adalah jumlah total areal situs cagar budaya dan N jumlah total areal non-situs cagar budaya. Area di bawah kurva ini disebut AUC digunakan untuk mengevaluasi kinerja model yang dianalisis (Sahin dkk., 2020). Kurva perubahan laju dibuat dengan nilai CHSI sebagai sumbu x dan persentase kumulatif kejadian gempa bumi sebagai sumbu y (Nusantara dan Setianto, 2015). Klasifikasi hasil validasi situs cagar budaya kemudian dikelompokkan menjadi beberapa rentang nilai yaitu 0,5 – 0,6 dinyatakan gagal, 0,6 – 0,7 dinyatakan buruk, 0,7 – 0,8 dinyatakan cukup, 0,8 – 0,9 dinyatakan baik, dan 0,9 – 1 dinyatakan sangat baik (Rasyid dkk, 2016). Indeks kerentanan cagar budaya yang telah dihasilkan kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kelas yaitu sangat rentan, sedang, tidak rentan.