

Skripsi Geofisika

**PEMODELAN KERUSAKAN LUKISAN PURBAKALA AKIBAT
CUACA DI LEANG JING MAROS**



**OLEH :
SINDY YUSTIN LINGGI
H061191034**

**PROGRAM STUDI GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2023**

HALAMAN JUDUL

PEMODELAN KERUSAKAN LUKISAN PURBAKALA

AKIBAT CUACA DI LEANG JING MAROS

SKRIPSI

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Pada Departemen Geofisika

Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Universitas Hasanuddin

OLEH

SINDY YUSTIN LINGGI

H061191034

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2023

HALAMAN PENGESAHAN

**PEMODELAN KERUSAKAN LUKISAN PURBAKALA
AKIBAT CUACA DI LEANG JING MAROS**

Disusun dan Diajukan Oleh:

SINDY YUSTIN LINGGI

H061191034

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Program Sarjana Program Studi Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin

Pada 6 Februari 2023

Dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pertama


Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc
NIP. 196303151987101001


Dr. Erfan, M.Si
NIP. 196709032001121001

**Ketua Departemen Geofisika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin Makassar**


Dr. Muh. Alimuddin Hamzah, M.Eng
NIP. 196709291993031003

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Sindy Yustin Linggi

NIM : H061191034

Departemen : Geofisika

Judul Tugas Akhir : Pemodelan Kerusakan Lukisan Purbakala Akibat Cuaca di
Leang Jing Maros

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar sarjana di Universitas Hasanuddin atau Lembaga Penelitian lain kecuali kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang sudah lazim digunakan, karya tulis ini merupakan murni dari gagasan penelitian saya sendiri, kecuali arahan Tim Pembimbing dan masukan Tim Penguji.

Makassar, 06 Februari 2023

Yang Membuat Pernyataan,



Sindy Yustin Linggi

ABSTRAK

Leang Jing di Kabupaten Maros merupakan salah satu dari banyak gua prasejarah yang ada di Kawasan karst Maros-Pangkep Provinsi Sulawesi Selatan yang mengandung sisa-sisa budaya manusia masa lalu. Salah satu yang menjadi bukti adanya lukisan dinding gua. Pada umumnya lukisan gua prasejarah di Maros dan Pangkep hanya memiliki dua warna yaitu merah dan hitam. Namun, lukisan-lukisan ini sebagian besar telah mengalami kerusakan. Penelitian ini pun bertujuan untuk mengetahui jumlah persentase kerusakan lukisan purbakala di Leang Jing dengan metode *image processing* yang terjadi antara tahun 2019 sampai 2022 dan menganalisis korelasi antara data cuaca berupa temperatur dan kelembaban terhadap kerusakan lukisan purbakala di Leang Jing yang terjadi pada tahun 2019 sampai 2022. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *image processing* dan metode *multiple regression*. Penelitian ini menghasilkan korelasi antara data cuaca berupa temperatur dan kelembaban terhadap laju kerusakan lukisan purbakala di Leang Jing. Dimana besar laju kerusakan lukisan yang diperoleh dengan metode *image processing* menunjukkan kerusakan meningkat setiap tahunnya dimana laju kerusakan pada tahun 2019 sebesar 0,004% dan pada tahun 2022 sebesar 0,325%. Hasil analisis model yang diperoleh menunjukkan korelasi antara data cuaca berupa temperatur dan kelembaban terhadap laju kerusakan lukisan di Leang Jing sebesar 0,9927 untuk cuaca di dalam gua dan untuk cuaca di luar gua nilai korelasinya 0,9918. Berdasarkan nilai korelasi tersebut diketahui bahwa cuaca berupa temperatur dan kelembaban sangat berpengaruh terhadap laju kerusakan lukisan di Leang Jing dan data cuaca di dalam gua sedikit lebih berpengaruh terhadap laju kerusakan lukisan dibandingkan dengan data cuaca di luar gua.

Kata kunci: Lukisan Purbakala, Data Citra, Temperatur, Kelembaban, *Image Processing*, *Multiple Regression*, Korelasi *Pearson*

ABSTRACT

Leang Jing in Maros Regency is one of the many prehistoric caves in the Maros-Pangkep karst area of South Sulawesi Province which contain remnants of past human cultures. One of the evidence of the existence of cave is wall paintings. In general, prehistoric cave paintings at Maros and Pangkep only have two colors, namely red and black. However, most of these paintings have suffered damage. This study also aims to determine the percentage of damage to ancient paintings in Leang Jing using the image processing method that occurred between 2019 and 2022 and to analyze the correlation between weather data in the form of temperature and humidity to damage to ancient paintings in Leang Jing that occurred in 2019 to 2022. The methods used in this study are image processing methods and multiple regression methods. This research produces a correlation between weather data in the form of temperature and humidity and the rate of damage to ancient paintings in Leang Jing. Where the rate of damage to paintings obtained using the image processing method shows that the damage increases every year where the rate of damage in 2019 was 0.004% and in 2022 it was 0.325%. The results of the model analysis obtained show a correlation between weather data in the form of temperature and humidity with the rate of damage to the paintings in Leang Jing of 0.9927 for the weather inside the cave and for the weather outside the cave the correlation value is 0.9918. Based on the correlation value, it is known that the weather in the form of temperature and humidity greatly influences the rate of damage to the paintings in Leang Jing and the weather data inside the cave has a slightly more influence on the rate of damage to the paintings compared to the weather data outside the cave.

Keywords: *Archaeological Paintings, Image Data, Temperature, Humidity, Image Processing, Multiple Regression, Pearson Correlation*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas anugerah dan berkatnya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Pemodelan Kerusakan Lukisan Purbakala Akibat Cuaca di Leang Jing Maros”** yang disusun sebagai syarat akademis dalam menyelesaikan studi program Sarjana (S1) program studi Geofisika fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam di Universitas Hasanuddin.

Terima kasih saya ucapkan kepada orang tua saya (**Bapak Yunus Mangi dan Ibu Albertin Kada Linggi**) yang telah penuh kasih membimbing, mendoakan dan selalu memberikan dukungan baik moral dan materi sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa rampungnya skripsi ini tidak terlepas dari saran, bimbingan, dukungan serta doa dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis dengan segala kerendahan hati menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc** selaku dosen Pembimbing Utama yang telah meluangkan waktunya untuk membimbing, memberikan ilmu dan saran serta sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak **Dr. Erfan, M.Si** selaku dosen Pembimbing Pertama yang telah memberikan nasihat dan ilmunya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak **Dr. Muhammad Hamzah, S.Si, M.Si** dan Bapak **Dr. Saaduddin, M.Sc** selaku tim penguji yang telah memberikan masukan dan koreksi dalam penulisan skripsi ini.

4. Bapak **Dr. Muh. Alimuddin Hamzah Assegaf, M.Eng** selaku ketua Departemen Geofisika dan seluruh pegawai jurusan Geofisika FMIPA Universitas Hasanuddin yang telah memberikan kemudahan dalam pengurusan administrasi penulisan ini.
5. Bapak **Dr. Erfan, M.Si** selaku Penasehat Akademik yang selalu memberikan dukungan moral kepada penulis.
6. Seluruh staff Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam terkhusus staff Departemen Geofisika, Staff Laboratorium, Staff Perpustakaan Pusat dan Staff Perpustakaan Fakultas atas segala bantuan dalam pengurusan administrasi selama menempuh pendidikan di Universitas Hasanuddin.
7. Kepada pihak **Balai Besar Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) Sulawesi Selatan** yang telah memberikan fasilitas berupa data dan informasi kepada penulis dalam melakukan penelitian ini.
8. Kepada kakak-kakak Geofisika Universitas Hasanuddin terkhusus Kak **Muh. Syafrizal, S.Si** dan Kak **Andika, S.Si, M.Si** yang telah memberikan saran dan bantuan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan skripsi ini.
9. Kepada **Nurhuda** yang selalu kebersamai selama masa kuliah sampai menyusun tugas akhir ini dan terus memberi semangat dan dukungan kepada penulis.
10. Teman seperjuangan **Haerul dan Arsyih** yang selalu membantu memberikan motivasi dalam mengerjakan skripsi ini.
11. Teman-teman seperjuangan seangkatanku **Muji, Caca, Indah, Pipit, Nanov, Mey, Ita, Asyifah, Lovely** yang sudah terus memberi semangat dalam menulis skripsi ini dan membuat masa-masa kuliah ini menyenangkan.

12. Teman-teman KKN **Ayu, Intan, Mia, Dilla, Tiffani, Haerul, Kak Ragil, Eka** yang terus memberi semangat dan motivasi kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
13. **Teman-teman Prodi Geofisika angkatan 2019** yang senantiasa ada untuk memberikan dukungan dan motivasi untuk penulis.
14. **Teman-teman HMGF FMIPA UNHAS** yang memberikan dukungan moral dan semangat kepada penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.
15. Teman-teman SMA **Febby, An, Dita, Sinta, Karina, Sarah** yang selalu memberi dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini, dan sahabat SD ku **Natasya** dan **Editha** yang selalu memberikan motivasi dan semangat kepada penulis.

Serta kepada seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu rasa terima kasih atas bantuannya selama ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan membutuhkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak yang dapat dipergunakan untuk penelitian selanjutnya. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan semua pihak.

Makassar, 06 Februari 2023

Sindy Yustin Linggi

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang.....	1
I.2 Ruang Lingkup	2
I.3 Rumusan Masalah.....	2
I.4 Tujuan Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
II.1 Pegunungan Karst Maros Pangkep	3
II.2 Lukisan Purbakala	4
II.3 Kelembaban.....	6
II.4 Temperatur	7
II.5 Kondisi Lingkungan	7
II.6 Metode <i>Image Processing</i>	9
II.7 Metode <i>Multiple Regression</i>	12
II.8 Korelasi <i>Pearson</i>	14
II.9 <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i>	15
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	16
III.1 Lokasi Penelitian.....	16
III.2 Alat dan Bahan.....	16
III.2.1 Alat.....	16
III.2.2 Bahan	16
1. Data Citra Lukisan Prasejarah Leang Jing	16

2. Temperatur	17
3. Kelembaban.....	17
III.3 Prosedur Penelitian	17
III.3.1 Tahap Persiapan dan Pengumpulan Data.....	17
III.3.2 Tahap Pengolahan Data	17
III.4 Bagan Alir Penelitian.....	19
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
IV.1 Nilai Persentase Kerusakan Lukisan	20
IV.2 Hasil Pengolahan Laju Kerusakan Lukisan Leang Jing dengan Data Cuaca dalam Gua.....	21
IV.3 Hasil Pengolahan Laju Kerusakan Lukisan Leang Jing dengan Data Cuaca luar Gua	22
BAB V PENUTUP	26
V.1 Kesimpulan	26
V.2 Saran	26
DAFTAR PUSTAKA	27
LAMPIRAN.....	29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Kondisi salah satu lukisan gua yang mengalami kerusakan parah di Leang Jing	5
Gambar 2. 2 Warna RGB	11
Gambar 2. 3 Contoh Citra Biner	12
Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian.....	16
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian.....	19
Gambar 4.1 Grafik observasi dan modeling kerusakan lukisan di Leang Jing menggunakan data cuaca dalam gua tahun 2019-2022.....	19
Gambar 4.2 Grafik observasi dan modeling kerusakan lukisan di Leang Jing menggunakan data cuaca luar gua tahun 2019-2022	19

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Nilai Persentase Kerusakan dan Laju Keursakan Lukisan	5
Tabel 4.2 Nilai Prediktor (Temperatur dan Kelembaban di dalam Gua	11
Tabel 4.3 Nilai Prediktor (Temperatur dan Kelembaban di luar Gua	11

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Gua prasejarah adalah gua yang mengandung artefak dari zaman prasejarah. Tidak banyak yang mengetahui bahwa terdapat sekitar 40 gua prasejarah di Leang-Leang, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan, dan 18 diantaranya termasuk ke dalam gua dengan kategori nilai tinggi berdasarkan 7 kriteria (nilai penting sejarah, arkeologi, ekologi, speleogenesis, etnik, estetika, dan publik). Beberapa lukisan gua yang ditemukan di gua prasejarah yang ada di Leang-Leang rata-rata berusia 35,4 ribu tahun hingga 39.900 tahun. Beberapa temuan terkait gua prasejarah yang ada di Leang-Leang, didominasi oleh adanya lukisan pada dinding gua. Lukisan-lukisan ini berbentuk cap telapak tangan dan hewan-hewan yang ada di wilayah tersebut pada masa lalu (Muhammad, 2017).

Gua di Leang-Leang dulunya digunakan sebagai tempat tinggal, dan selain itu pada dinding-dinding gua digunakan media untuk mengekspresikan pengalaman, perjuangan dan harapan hidup manusia dalam bentuk lukisan gua. Namun lukisan-lukisan yang ada di gua tersebut sebagian besar telah mengalami kerusakan dan pelapukan oleh waktu. Kerusakan lukisan dinding gua diduga diakibatkan oleh adanya kontak dengan atmosfer yang berbeda secara signifikan pada musim hujan dan kemarau dalam jangka waktu yang sangat panjang. Kerusakan yang terjadi di antaranya adalah pengelupasan lapisan dinding gua yang ada pada lukisan, pertumbuhan lumut atau ganggang yang menutupi lukisan dan lukisan terhapus oleh aliran air hujan yang melewati lukisan. Kerusakan lukisan gua juga disebabkan oleh faktor manusia (antropogenik) seperti degradasi ekosistem karst dan vandalisme (Suhartono, 2012).

Penelitian ini akan menganalisis persentase kerusakan yang terjadi pada lukisan yang diakibatkan cuaca berupa temperatur dan kelembaban yang ada di Leang Jing dalam beberapa tahun.

I.2 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi oleh analisis persentase kerusakan lingkungan purbakala di Leang Jing Maros menggunakan data citra lukisan purbakala dan pengaruh cuaca terhadap kerusakan lukisan dari tahun 2019 sampai tahun 2022 dengan metode *image processing* dan metode *multiple regression*.

I.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana persentase kerusakan lukisan purbakala Leang Jing dengan metode *image processing*?
2. Bagaimana analisis R (korelasi) antara data cuaca dan lingkungan yang dapat mempengaruhi kerusakan lukisan purbakala Leang Jing yang terjadi pada tahun 2019 sampai 2022?

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui jumlah persentase kerusakan lukisan purbakala Leang Jing dengan metode *image processing* yang terjadi antara tahun 2019 sampai 2022.
2. Menganalisis R (korelasi) antara data cuaca yang dapat mempengaruhi kerusakan lukisan purbakala Leang Jing yang terjadi pada tahun 2019 sampai 2022.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Pegunungan Karts Maros Pangkep

Secara administratif, gua-gua prasejarah di kawasan karst Maros Pangkep masuk dalam dua wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkep. Secara keseluruhan situs-situs gua prasejarah yang terdapat di kawasan karst Maros-Pangkep berjumlah 126 gua. Di Kabupaten Maros, terdapat 65 gua prasejarah yang tersebar di tiga kecamatan, yakni Kecamatan Bontoa, Kecamatan Simbang dan Kecamatan Bantimurung. Sedangkan di Kabupaten Pangkep terdapat 61 gua prasejarah yang berada di lima kecamatan, yaitu Kecamatan Balocci, Kecamatan Minasate'ne, Kecamatan Bungoro, Kecamatan Labbakkang, dan Kecamatan Tondong Tallasa. Leang Jing sendiri berada di Kabupaten Maros, Kecamatan Bantimurung.

Kawasan karst Maros Pangkep secara astronomis berada antara $4^{\circ} 42' 49'' - 5^{\circ} 06' 42''$ S dan $119^{\circ} 34' 17'' - 119^{\circ} 55' 13''$ E. Secara areal geologi, kawasan ini termasuk dalam areal geologi regional Maros, Pangkep, dan Watampone yang secara umum terbagi atas dua baris pegunungan yang memanjang dengan arah utara-barat laut yang terpisahkan oleh lembah Sungai WalannaE. Pada lereng barat dan beberapa tempat di lereng timur terdapat topografi karst (*karst topography*), yang menunjukkan adanya kandungan batu gamping. Tipe perbukitan di daerah ini merupakan topografi karst yang dicirikan oleh bentuk- bentuk bukit terjal, puncak bukit membulat, menara-menara karst, stalagtit dan stalagmit. Kawasan pegunungan gamping ini terdiri dari bukit- bukit terjal dengan lubang-lubang hitam horizontal yang merupakan gua-gua sisi lereng dan gua-gua kaki cadas (*clift foot cave*).

Lubang-lubang horizontal yang merupakan gua-gua tersebut terbentuk oleh proses-proses alam yang lazim terdapat pada kawasan gamping. Batuan dasar karst adalah batu gamping numulit eosin, berlapis tebal, lapisan agak mendatar dan relatif murni, terletak di atas sekis kristalin dan genis vulkanik ofiolit kretaseus (Mulyadi, 2016).

II.2 Lukisan Purbakala

Lukisan pertama kali muncul pada masa *Berburu dan Mengumpulkan Makanan Tingkat Lanjut*. Lukisan yang dibuat sebagai ungkapan pikiran manusia prasejarah ini dapat dilihat pada gua atau ceruk untuk mengekspresikan perasaannya, dimana pada lukisan tersebut umumnya adalah hewan yang berhubungan dengan aktivitas mereka sehari-hari yaitu berburu. Selain itu, apa yang mereka gambarkan di dalam gua berhubungan dengan adanya kepercayaan manusia masa itu tentang dunia gaib. Mereka percaya bahwa apa yang dilukis mempunyai kekuatan magis yang akan berpengaruh terhadap binatang buruan mereka, seperti yang terdapat pada lukisan Anoa di dinding Gua Sumpang Bitu Kabupaten Pangkep Provinsi Sulawesi Selatan. Selain binatang, objek lain yang sering mereka lukis di gua adalah gambar tangan atau sosok manusia. Penggambaran tangan ini bisa diartikan sebagai ungkapan rasa duka atas kematian, sekaligus penghormatan terhadap arwah leluhur. Di samping itu, lukisan tersebut juga bisa dihubungkan dengan kepercayaan mereka, yaitu bahwa cap tangan adalah milik makhluk halus yang pernah menghuni daerah tertentu sebelum daerah tersebut dihuni oleh manusia (Abubakar, 2013).

Gua Jing sendiri berada pada ketinggian 48 meter di atas permukaan laut. Terletak \pm 12 m sebelah timur Gua Balang. Memang gua ini berada di dinding tebing vertikal dengan ketinggian \pm 8 m di atas kaki bukitnya, sehingga untuk mencapainya harus memanjat. Ada dua pintu di kedua ujungnya yang panjangnya kurang lebih 30 meter,

masing-masing berukuran lebar 3 meter. Gua yang memiliki dua pintu yang menghadap ke selatan ini sebenarnya hanya sebuah rongga dari sebuah gua utama di timur yang kemudian disebut Gua Barugaya. Kedua gua dihubungkan oleh rongga lain, jadi jika kita masuk melalui gua Jing bisa keluar di Gua Barugaya atau sebaliknya. Rongga Gua Jing cukup gelap, suhu udaranya berkisar 24° - 27° C dengan kelembaban berkisar 70-80% (Thosibo et al., 2019).



Gambar 2.1 Kondisi salah satu lukisan gua yang mengalami kerusakan parah di Leang Jing (Mulyadi, 2012)

Akumulasi peninggalan arkeologi yang diamati di situs ini hanya terdiri dari lukisan yang ada pada dinding gua, sedangkan sisa-sisa lainnya seperti peralatan batu dan sampah dapur tidak diperoleh. Lukisan dinding yang diamati dan diyakini ada yaitu seperti gambar burung, gambar manusia dan gambar cap telapak tangan yang semuanya menggunakan warna merah. Gambar burung dan gambar manusia dibuat dengan cara *outlined*, sedangkan untuk telapak tangan dilakukan dengan memercikkan cairan berwarna pada punggung tangan yang terlebih dahulu ditempelkan ke atas permukaan dinding batu (Thosibo et al., 2019).

II.3 Kelembaban

Berdasarkan klasifikasi iklim global, wilayah kepulauan Indonesia sebagian besar tergolong dalam zona iklim tropika basah dan sisanya masuk zona iklim pegunungan. Variasi suhu udara di Kepulauan Indonesia tergantung pada ketinggian tempat. Suhu udara akan semakin rendah pada tempat yang semakin tinggi. Tekanan udara merupakan unsur dan pengendali iklim yang sangat penting bagi kehidupan makhluk di bumi, karena peranannya sebagai penentu dalam penyebaran curah hujan. Perubahan tekanan udara akan menyebabkan perubahan kecepatan dan arah angin, perubahan ini akan membawa pula pada perubahan suhu dan curah hujan. Dengan demikian penyebaran curah hujan di seluruh permukaan bumi berhubungan sangat erat dengan sistem tekanan udara dan angin. Tekanan udara berkurang dengan bertambahnya ketinggian tempat (Pradipta et al., 2013)

Indonesia memiliki dua macam musim berdasarkan kondisi curah hujan, yaitu musim hujan dan musim kemarau. Pada waktu musim hujan, simpanan air tanah pada kawasan karst akan semakin banyak, dan sebaliknya, apabila lama tidak terjadi hujan (musim kemarau), maka simpanan air tanah akan semakin berkurang. Tetesan pada atap gua merupakan hasil perkolasi air hujan yang terjadi di permukaan tanah yang mengalir melalui pori-pori (*diffuse*) maupun percelah- retakan (*fissure*) pada batuan karbonat. Air yang menetes tersebut, sebelumnya telah melarutkan batuan karbonat di atasnya karena banyak mengandung CO₂ yang diperolehnya dari tanah maupun dari atmosfer dan dalam kondisi jenuh dapat membentuk ornamen-ornamen gua. Dekomposisi mineral kalsit di dalam larutan tersebut hanya dapat terjadi pada kondisi tertentu, salah satunya adalah pada saat tingginya tingkat penguapan akibat kelembaban udara yang rendah, serta kondisi agresivitas air tanah. Hal ini dapat

terjadi pada daerah dengan kondisi iklim yang kering seperti di Indonesia dengan iklim tropis dan memiliki curah hujan yang tinggi. Selain itu, air tetesan merupakan sumber dari *baseflow* atau aliran dasar di waktu musim kemarau pada sungai bawah tanah di daerah karst (Hariadi & Adji, 2009).

II.4 Temperatur

Lukisan pada dinding gua prasejarah umumnya mengalami kerusakan yang sama, yaitu terjadi pengelupasan dan sedimentasi. Disamping itu di beberapa tempat warna lukisan mulai memudar terutama lukisan yang terletak di bagian dinding depan mulut gua. Kerusakan lukisan gua disebabkan adanya perubahan temperatur yang besar dalam sehari. Temperatur naik tinggi pada siang hari dan turun tajam pada malam hari. Ketika batuan terkena panas dan mengembang pada siang hari, lalu dingin dan berkontraksi di malam hari, tekanan sering dialami oleh lapisan luar. Tekanan menyebabkan lapisan luar batuan menjadi terkelupas dan jadi lapisan tipis. Meskipun kerusakan ini disebabkan terutama oleh perubahan temperatur, proses ini juga diperparah oleh adanya kelembaban yang tinggi. Dugaan ini diperkuat oleh fakta bahwa lukisan yang berada dimulut gua (terbuka) memiliki tingkat kerusakan yang lebih tinggi dari pada yang ada di bagian dalam gua. Akan tetapi tidak bisa di pungkiri bahwa hampir semua lukisan yang berada di depan mulut gua mengalami kerusakan yang parah, meskipun vegetasinya masih bagus. Hal ini disebabkan oleh perubahan cuaca yang semakin tidak menentu dan tentunya faktor pemanasan global (Mulyadi, 2016).

II.5 Kondisi Lingkungan

Gua merupakan sebuah bagian yang tidak terpisahkan dari lingkungan di luar gua. Perubahan yang terjadi di luar gua sangat berpengaruh pada lingkungan gua. Perubahan lingkungan luar gua mempengaruhi ketersediaan sumber pangan di dalam gua. Terjadinya perubahan lahan seperti penebangan liar atau penggundulan hutan

sangat berpengaruh terhadap ketersediaan guano yang dihasilkan kelelawar, dan berpengaruh pada ketersediaan air di dalam gua melalui sistem percelah rekahan, sehingga menyebabkan perubahan kondisi mikroklimat dalam gua yang berpengaruh pada proses dekomposisi, dan perkembangan mikroorganisme yang penting sebagai sumber energi utama dalam gua. Dalam kaitannya dengan pelestarian gua prasejarah, penebangan pohon di sekitar gua untuk perkebunan dan merapatnya rumah-rumah penduduk di sekitar gua dapat menyebabkan perubahan iklim mikro (suhu, kelembaban) dan kualitas air rembesan yang masuk dan mengalir pada dinding gua. Hal tersebut berkaitan dengan meningkatnya kandungan karbon dioksida di udara. Semakin tinggi kandungan karbondioksida di udara proses karstifikasi (pelarutan kapur) meningkat.

Pada beberapa gua prasejarah di kawasan ini, telah terjadi perubahan lingkungan sekitar yang menyebabkan lingkungan gua menjadi terbuka dan tidak terlindungi oleh tumbuhan perindang (vegetasi). Hal ini memudahkan sinar matahari masuk ke dalam gua tanpa ada penghalang, dan mengenai lukisan secara langsung. Lukisan yang terkena sinar matahari secara terus menerus dan dalam jangka waktu lama, dapat menjadi salah satu faktor yang mempercepat terjadinya pelapukan pada dinding gua. Selain itu, terbukanya lingkungan memudahkan juga angin masuk ke dalam gua secara langsung mengenai lukisan. Seperti yang terjadi pada Leang Jing, dimana kondisi lingkungan di luar Leang ini didominasi dengan adanya persawahan sehingga lingkungan gua menjadi terbuka dan tidak adanya vegetasi pepohonan sebagai pelindung. Faktor angin mempercepat terjadinya pengelupasan lapisan terluar dinding gua yang mengandung lukisan yang telah mengalami pelapukan. Data lapangan menunjukkan bahwa kondisi kerusakan lukisan yang cukup parah terutama terjadi pada lukisan yang terletak pada bagian mulut gua dan tidak

terlindung oleh stalaktit, pepohonan dan lainnya sebagainya. Kerusakan lukisan dinding gua diduga diakibatkan oleh adanya kontak dengan atmosfer yang berbeda secara signifikan pada musim hujan dan kemarau. Kerusakan lukisan dinding gua yang terjadi di antaranya adalah pengelupasan lapisan dinding gua yang memuat lukisan. Selain itu, kerusakan juga disebabkan oleh pertumbuhan lumut/ganggang yang menutupi lukisan dan lukisan terhapus oleh aliran air hujan yang melewati lukisan (Mulyadi, 2016).

II.6 Metode Image Processing

Pengolahan citra digital atau *image processing* adalah suatu metode yang digunakan untuk mengolah gambar sehingga menghasilkan gambar lain yang sesuai dengan keinginan kita. Pengambilan gambar biasanya dilakukan dengan kamera *video digital* atau alat lain yang biasanya digunakan untuk mentransfer gambar (*scanner*, kamera *digital*). Pengolahan gambar *digital* atau *Digital Image Processing* (DIP) adalah bidang yang berkembang sangat pesat sejalan dengan kemajuan teknologi pada industri saat ini. Fungsi utama dari *Digital Image Processing* adalah untuk memperbaiki kualitas dari gambar hingga dapat dilihat lebih jelas tanpa ada ketegangan pada mata, karena informasi penting diekstrak dari gambar yang dihasilkan harus jelas sehingga didapatkan gambar yang terbaik. Selain itu DIP digunakan untuk memproses data yang diperoleh dalam persepsi mesin, yaitu prosedur-prosedur yang digunakan untuk mengekstraksi informasi dari gambar dalam bentuk yang cocok untuk proses komputer.

Proses pengolahan citra digital dan analisisnya, banyak menggunakan persepsi visual. Data masukan dan keluaran yang dihasilkan oleh proses ini adalah dalam bentuk citra. Citra yang digunakan adalah citra digital, karena citra jenis ini dapat diproses

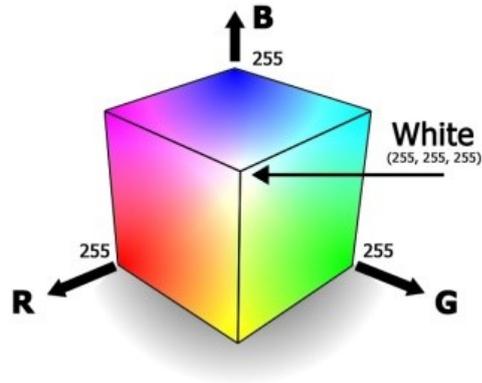
oleh komputer digital. Citra digital diperoleh secara otomatis dari sistem penangkapan citra digital dan membentuk suatu matriks yang menyatakan intensitas cahaya pada suatu himpunan diskrit dari suatu titik atau citra masukan diperoleh melalui suatu kamera yang didalamnya terdapat suatu alat digitasi yang mengubah citra masukan berbentuk analog menjadi citra digital (Suhandy & Ahmad, 2003).

Pada umumnya untuk penampil secara visual, nilai data digital merepresentasikan warna dari citra yang diolah, dengan demikian format data citra digital berhubungan erat dengan warna. Format citra digital yang banyak dipakai adalah citra biner, skala keabuan (*grey scale*), dan citra warna.

1. Citra Warna

Model pengolahan warna telah banyak dikembangkan oleh para ahli, salah satunya adalah model RGB. Model warna RGB menggunakan dasar tiga buah warna pokok yaitu *Red* (merah), *Green* (hijau) dan *Blue* (biru). Suatu citra warna yang disimpan dalam memori 8-bit, setiap pikselnya akan mengandung informasi intensitas tiga buah warna tersebut (R, G, dan B) dengan selang nilai 0-255 (Idhawati, 2007). Dalam model warna RGB, intensitas warna setiap piksel pada suatu citra dapat diubah dalam bentuk indeks warna, yaitu indeks warna merah (r), indeks warna hijau (h) dan indeks warna biru (b).

Model pengolahan warna yang lain adalah model warna HIS. Model warna ini menggunakan dasar nilai *hue* (corak), *saturation* (kejenuhan), dan *intensity* (kecerahan). Model ini dianggap sebagai cara sebenarnya manusia memandang suatu warna, yang biasanya melakukan penilaian warna secara kualitatif (Idhawati, 2007).



Gambar 2.2 Warna RGB

2. Citra *Grayscale* (Skala Keabuan)

Gambar tidak berwarna atau hitam putih dikenal juga sebagai gambar dengan derajat keabuan (citra gray level). Derajat keabuan yang dimiliki ini bisa beragam mulai dari 2 derajat keabuan (yaitu 0 dan 1) yang dikenal juga sebagai citra *monochrome*, 16 derajat keabuan dan 256 derajat keabuan. Semakin besar jumlah derajat keabuan yang dimiliki maka semakin halus citra tersebut. Dalam sebuah citra *monochrome*, sebuah pixel diwakili oleh 1 bit data yang berisikan data tentang derajat keabuan yang dimiliki pixel tersebut. Data akan berisi 1 bila pixel tersebut berwarna putih dan data akan berisi nilai 0 bila pixel tersebut berwarna hitam. Citra yang memiliki 16 derajat keabuan (mulai dari 0 yang mewakili warna hitam sampai dengan 15 yang mewakili warna putih) direpresentasikan oleh 4 bit data, sedangkan citra dengan 256 derajat keabuan (nilai dari 0 yang mewakili warna hitam sampai dengan 255 yang mewakili warna putih) direpresentasikan oleh 8 bit data. Dalam citra berwarna, jumlah warna bisa beragam mulai dari 16, 256, 65536 atau 16 juta warna, yang masing-masing direpresentasikan oleh 4, 8, 16, atau 24 bit data untuk setiap pixelnya. Warna yang ada terdiri dari tiga komponen utama, yaitu nilai merah (*red*), nilai hijau (*green*) dan nilai biru (*blue*). Paduan ketiga komponen utama pembentuk warna ini dikenal sebagai RGB *color* (Widyardini, 2015).

3. Citra Biner

Citra biner merupakan citra yang mempunyai 2 warna yaitu hitam dan putih saja. Dimana hitam dinyatakan dengan bit 0 dan putih dinyatakan dengan bit 1. Citra biner diperoleh melalui proses pemisahan piksel-piksel berdasarkan derajat keabuan yang dimilikinya. Piksel yang memiliki derajat keabuan lebih kecil dari nilai batas yang ditentukan akan diberikan nilai 0, sementara piksel yang memiliki derajat keabuan yang lebih besar dari batas akan diubah menjadi bernilai 1 (Sutoyo, 2009).



Gambar 2.3 Contoh Citra Biner

II.7 Multiple Regression (MR)

Regresi adalah suatu metode analisis cabang statistika yang digunakan untuk mengamati pengaruh antara dua atau lebih variabel. Hubungan variabel tersebut bersifat fungsional yang diwujudkan dalam suatu model matematis. Pada analisis regresi, variabel dibedakan menjadi dua *part*, yaitu variabel respons (*response variable*) atau biasa disebut dengan variabel bergantung (*dependent variable*), dan variabel *explanatory* atau disebut juga variabel bebas (*independent variable*). Regresi terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu regresi sederhana (linear/nonlinear sederhana) dan regresi berganda (linear/nonlinear berganda).

Metode regresi linear berganda adalah alat statistik yang dipergunakan untuk mengetahui pengaruh antara satu atau beberapa variabel terhadap satu buah variabel. Manfaat dari regresi linear berganda diantaranya analisis regresi lebih akurat dalam melakukan analisis korelasi, karena analisis itu kesulitan dalam menunjukkan tingkat perubahan suatu variabel terhadap variabel lainnya (*slope*) dapat ditentukan. Dengan

analisis regresi, prediksi nilai variabel terikat pada nilai variabel bebas lebih akurat. Tujuannya untuk mengestimasi serta memprediksi rata-rata populasi atau nilai rata-rata variabel dependen atau variabel Y berdasarkan nilai variabel independen atau variabel X yang diketahui. Hasil analisis regresi berupa koefisien pada masing-masing variabel *independent*.

Analisis yang memiliki variabel bebas lebih dari satu disebut analisis regresi linear berganda. Regresi berganda merupakan regresi dengan dua atau lebih variabel $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ sebagai variabel bebas (*independent*) dan variabel Y sebagai variabel terikat (*dependent*), nilai-nilai koefisien atau taksiran parameter regresi berganda dapat diperoleh dengan model regresi linear berganda. Adapun persamaannya dapat dilihat sebagai berikut (Sandi et al., 2020):

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_nX_n + e \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

Y : Variabel Terikat / Hasil Regresi

X_1, X_2 : Variabel Bebas / Prediktor

a : Konstanta

b_1, b_2 : Koefisien Regresi

e = kesalahan pengganggu (*disturbance term*). Artinya nilai-nilai variabel lain yang tidak dimasukkan ke dalam persamaan. Nilai ini biasanya diabaikan dalam perhitungan.

Untuk menentukan nilai a, b_1, b_2 digunakan metode kuadrat terkecil (*Least Square*) dapat dirumuskan sebagai berikut (Kutner et al., 2004):

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum X_1}{n} \dots \dots \dots (2.2)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\sum X_2}{n} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$b_1 = \frac{(\sum X_2^2)(\sum X_1 Y) - (\sum X_1 X_2)(\sum X_2 Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1 X_2)^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$b_2 = \frac{(\sum X_1^2)(\sum X_2 Y) - (\sum X_1 X_2)(\sum X_1 Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1 X_2)^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$a = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

$\bar{X}_1 \bar{X}_2$: Jumlah Rata-rata Variabel Bebas / Prediktor

\bar{Y} : Jumlah Rata-rata Variabel Terikat / Hasil Regresi

N : Jumlah Data

II.8 Korelasi Pearson

Korelasi pearson merupakan korelasi sederhana yang hanya melibatkan satu variabel terikat (*dependent*) dan satu variabel bebas (*independent*). Korelasi pearson menghasilkan koefisien korelasi yang berfungsi untuk mengukur kekuatan hubungan linier antara dua variabel. Jika hubungan dua variabel tidak linier, maka koefisien korelasi pearson tersebut tidak mencerminkan kekuatan hubungan dua variabel yang sedang diteliti, meski kedua variabel mempunyai hubungan kuat. Koefisien korelasi ini disebut koefisien korelasi pearson karena diperkenalkan pertama kali oleh Karl Pearson tahun 1990 (Firdaus, 2009).

Menurut (Sugiyono, 2008) pedoman untuk menginterpretasikan hasil koefisien korelasi sebagai berikut :

- 0,00 –0,199 : sangat rendah
- 0,20 –0,399 : rendah

- 0,40 –0,599 : sedang
- 0,60 –0,799 : kuat
- 0,80 –1,000 : sangat kuat

Berdasarkan pedoman diatas data yang semakin mendekati 1 maka data tersebut semakin valid.

II. 9 *Root Mean Square Error (RMSE)*

Nilai *Root Mean Square Error (RMSE)* diperoleh dengan cara menghitung nilai akar dari rata – rata kuadrat dari nilai kesalahan yang menggambarkan selisih antara data observasi dengan nilai hasil prediksi. Dapat di hitung dengan persamaan (Halide, 2009):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dengan:

X_i = Data observasi

Y_i = Data prediksi

n_i = Jumlah data