

Skripsi Geofisika

**ANALISIS PENGARUH CUACA TERHADAP KERUSAKAN
LUKISAN PURBAKALA DI LEANG BULUSIPONG 4**



OLEH:

FADIA NURUL ISLAMI

H061 20 1055

**DEPARTEMEN GEOFISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

2024



HALAMAN JUDUL

**ANALISIS PENGARUH CUACA TERHADAP KERUSAKAN
LUKISAN PURBAKALA DI LEANG BULUSIPONG 4**

SKRIPSI

*Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains
pada Departemen Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Hasanuddin*

OLEH:

FADIA NURUL ISLAMI

H061 20 1055

DEPARTEMEN GEOFISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2024



LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH CUACA TERHADAP KERUSAKAN LUKISAN
PURBAKALA DI LEANG BULUSIPONG 4**

Disusun dan Diajukan oleh:

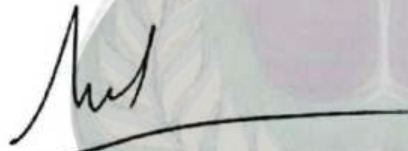
FADIA NURUL ISLAMI

H061 20 1055

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Studi Sarjana Geofisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal, 30 April 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pertama



Andika, S.Si., M.Si.
NIP. 7306062804970003

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



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



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fadia Nurul Islami

NIM : H061201055

Program Studi : Geofisika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul *Analisis Pengaruh Cuaca Terhadap Kerusakan Lukisan Purbakala di Leang Bulusipong 4* adalah karya ilmiah saya sendiri dan tidak melanggar hal cipta pihak lain. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya ilmiah orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 April 2024
Yang Menyatakan,



Fadia Nurul Islami



ABSTRAK

Lukisan Gua Prasejarah Leang Bulusipong 4, yang merupakan bagian dari UNESCO Global *GeoPark* Maros-Pangkep, telah mengalami kerusakan berupa pengelupasan karena fluktuasi temperatur, kelembaban, dan angin. Temperatur tinggi pada siang hari yang kemudian turun tajam pada malam hari menyebabkan ekspansi dan kontraksi batuan, lalu kelembaban menyebabkan pengendapan garam mineral yang memperparah kerusakan, juga angin berperan dalam menyebabkan erosi fisik pada permukaan batuan. Untuk mengetahui persentase dan laju kerusakan dilakukan pengolahan citra menggunakan metode pemrosesan citra (*image processing*). Hasilnya menunjukkan adanya peningkatan persentase kerusakan dari 0,4214% di tahun 2019 menjadi 0,5966% di tahun 2022. Kemudian dilakukan analisis regresi berganda untuk mengetahui bagaimana pengaruh cuaca terhadap kerusakan lukisan gua. Hasil analisis regresi berganda ini menunjukkan bahwa interaksi variabel cuaca (T, Rh, W) memiliki pengaruh paling besar terhadap kerusakan lukisan, dengan korelasi *pearson* 0,9882 untuk persentase kerusakan dan 0,9602 untuk laju kerusakan.

Kata kunci: Gua Prasejarah, Leang Bulusipong 4, Kerusakan Lukisan, Variabel cuaca, Pemrosesan Citra, Analisis Korelasi, Regresi Berganda.



ABSTRACT

The Cave-art of Leang Bulusipong 4, part of the UNESCO Global GeoPark Maros-Pangkep, have been damaged in the form of flaking due to fluctuations in temperature, humidity, and wind. High temperatures during the day that then drop sharply at night cause rock expansion and contraction, then humidity causes deposition of mineral salts that exacerbate the damage, also wind plays a role in causing physical erosion on the rock surface. To determine the percentage and rate of damage, image processing was used. The results showed an increase in the percentage of damage from 0.4214% in 2019 to 0.5966% in 2022. Then a multiple regression analysis was carried out to find out how the weather affects the damage to cave-art. The results of this multiple regression analysis show that the interaction of weather variables (T, Rh, W) has the greatest influence on cave-art damage, with a Pearson correlation of 0.9882 for the percentage of damage and 0.9602 for the rate of damage.

Keywords: *Cave-art, Leang Bulusipong 4, Cave-art Damage, Weather Variables, Image Processing, Correlation Analysis, Multiple Regression.*



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “**Analisis Pengaruh Cuaca terhadap Kerusakan Lukisan Purbakala di Leang Bulusipong 4**”. Ucapan terima kasih tak hingga penulis sampaikan kepada kedua orang tua, Bapak **Asrul** dan Ibu **Elmiwati** untuk setiap pengorbanan, kasih sayang dan doa tulus yang menyertai hidup penulis, juga kepada adik tercinta **Khayla Mashfufah** yang selalu sabar menunggu penulis pulang untuk melepas rindu. Serta kepada keluarga besar **Dachyar** dan **BMC**, yang turut memberi semangat, mendoakan, dan memberi bantuan kepada penulis.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari bimbingan dan bantuan berupa saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada:

1. **Prof. Dr. Halmar Halide, M.Sc.** selaku dosen pembimbing utama serta Bapak **Andika, S.Si., M.Si.** selaku dosen pembimbing pertama yang selalu menyempatkan waktunya, memberi arahan dan petunjuk serta semangat kepada penulis.
2. Bapak **Dr. Muhammad Hamzah S., S.Si., MT.** dan Bapak **Drs. Erfan Syamsuddin, M.Si.** selaku dosen Penguji yang telah memberikan kritik dan masukan yang membangun bagi penulis untuk kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Seluruh dosen terkhusus Bapak/Ibu dosen **Departemen Geofisika** yang telah



berikan ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Departemen Geofisika FMIPA Unhas, serta **Staf Departemen Geofisika** yang banyak

membantu penulis dalam pengurusan berkas-berkas selama perkuliahan hingga penyelesaian Tugas Akhir ini.

4. Pihak **Balai Besar Pelestarian Cagar Budaya Sulawesi Selatan** yang telah memberikan data hasil monitoring kepada penulis yang digunakan pada pengerjaan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman **Geofisika 2020**, seperjuangan penulis yang banyak membantu selama masa perkuliahan.
6. Teman-teman **SPE Unhas SC, SFASS, HMGF, dan Sokola Kaki Langit**, yang menemani masa-masa perkuliahan penulis dengan berbagai kegiatan positif.
7. Teman-teman **SMP dan SMA** yang selalu menghibur, memberikan dukungan dan membantu penulis.
8. Kanda **Ketua Maperwa FMIPA Unhas 2021/2022**, *partner* diskusi yang selalu memberi solusi, semangat dan memotivasi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini tentunya memiliki kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca di masa mendatang.

Makassar, 30 April 2024
Penulis

Fadia Nurul Islami
H061201055



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Ruang Lingkup	4
I.3 Rumusan Masalah	4
I.4 Tujuan Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
II.1 Kawasan Karst Maros-Pangkep	6
II.2 Lukisan Purbakala	9
II.3 Leang Bulusipong 4	12
II.4 Temperatur	14
II.5 Kelembaban	15
II.6 Arah dan Kecepatan Angin	16
II.7 Metode Image Processing	18
II.8 Metode Multiple Regression (MR)	21
II.9 Korelasi Pearson	22
II.10 Root Mean Square Error (RMSE).....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
III.1 Lokasi Penelitian	25
alat dan Bahan	25
Prosedur Penelitian	26
Diagram Alir Penelitian.....	29



BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
IV.1 Nilai Persentase Kerusakan dan Laju Kerusakan Lukisan Purbakala Leang Bulusipong 4	30
IV.2 Nilai Temperatur, Kelembaban, dan Angin Bulusipong 4	31
IV.1 Grafik Observasi dan Modeling Kerusakan Lukisan Purbakala Leang Bulusipong	34
BAB V.....	42
KESIMPULAN DAN SARAN	42
V.1 Kesimpulan	42
V.2 Saran	42
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	46



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Peta Kawasan Maros-Pangkep	6
Gambar 2. 2	Kawasan Karst Maros-Pangkep.....	8
Gambar 2. 3	Lukisan di dinding gua Bulusipong 4.....	11
Gambar 2. 4	Lokasi Leang Bulusipong 4 dan PT Semen Tonasa	14
Gambar 2. 5	Mulut Gua Leang Bulusipong 4	18
Gambar 2. 6	Komposisi Gambar RGB dan CMYK	19
Gambar 2. 7	Peta Lokasi Penelitian	27
Gambar 4. 1	Grafik persentase kerusakan lukisan purbakala Leang Bulusipong 4 yang terjadi antara tahun 2019-2020 menggunakan data range dan mean.....	34
Gambar 4. 2	Grafik persentase kerusakan lukisan purbakala Leang Bulusipong 4 yang terjadi antara tahun 2019-2020 menggunakan data standar deviasi dan mean	36
Gambar 4. 3	Grafik laju kerusakan lukisan purbakala Leang Bulusipong 4 yang terjadi antara tahun 2019-2020 menggunakan data range dan mean	38
Gambar 4. 4	Grafik laju kerusakan lukisan purbakala Leang Bulusipong 4 yang terjadi antara tahun 2019-2020 menggunakan data <i>standar deviasi</i> dan <i>mean</i>	40



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kriteria Korelasi Pearson	24
Tabel 4. 1 Nilai Persentase Kerusakan dan Laju Kerusakan Lukisan	30
Tabel 4. 2 Nilai Range (selisih antara nilai maksimum dan minimum) Temperatur, Kelembaban dan Angin	31
Tabel 4. 3 Nilai Mean (Rata-rata) Temperatur, Kelembaban, dan Angin	32
Tabel 4. 4 Nilai Standar Deviasi Temperatur, Kelembaban, dan Angin	33



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tahap Pengolahan Citra.....	46
Lampiran 2. Gambar Hasil Poligon.....	48
Lampiran 3. Data Excel Persentase Kerusakan, Laju Kerusakan dan Variabel Cuaca.....	50
Lampiran 4. Data TXT Persentase Kerusakan, Laju Kerusakan dan Variabel Cuaca.....	51
Lampiran 5. Pengolahan Data Image Processing	52
Lampiran 6. Pengolahan Data Analisis Regresi Menggunakan Matlab.....	72



BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki potensi bentang alam karst sekitar 154.000 km² atau sekitar 0,08% dari luas daratan Indonesia. Sulawesi Selatan memiliki kawasan karst yang tersebar di beberapa kabupaten. Namun, kawasan karst di Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkep adalah kawasan karst yang paling terkenal. Kawasan Karst Maros-Pangkep merupakan kawasan karst terluas dan terindah kedua di dunia setelah kawasan karst di China. Keunikan kawasan karst Maros Pangkep yang tidak ditemukan di kawasan karst lainnya di Indonesia adalah karstnya yang berbentuk menara (*tower karst*)(Putro dan Warsito, 2023).

Secara administratif, kawasan karst Maros-Pangkep masuk dalam wilayah Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkep Provinsi Sulawesi Selatan. Gugusan karstnya membentang dari Kabupaten Maros sampai Kabupaten Pangkep, sehingga disebut dengan kawasan karst Maros-Pangkep. Umumnya kawasan ini dan kawasan karst lainnya secara ekonomi dikenal sebagai kawasan yang memiliki potensi bahan galian tambang (Mulyadi, 2016).

Selain potensi sumber daya tambang, kawasan ini juga memiliki potensi ekonomi lain yang tidak kalah penting, yaitu nilai jasa lingkungan (*environmental services*) seperti sumber daya air, keanekaragaman hayati, keunikan alam, objek wisata alam, serta warisan budaya dan purbakala berupa situs gua prasejarah. Berdasarkan data



12, terdapat 126 gua prasejarah di Kawasan Karst Maros Pangkep, 78 ya memiliki tinggalan berupa lukisan gua prasejarah, dengan beragam an jenis gambar. Keberadaan gua prasejarah tersebut yang menjadikan

kawasan karst ini dikenal dengan kawasan gua prasejarah Maros-Pangkep, yang saat ini telah menjadi bagian dari UNESCO *Global Park*. Kawasan ini banyak terdapat peninggalan purbakala baik artefak maupun non-artefak (Mulyadi, 2016). Setelah ribuan tahun ditinggalkan, kini lukisan dinding gua di Kabupaten Maros dan Pangkep telah banyak mengalami kerusakan karena proses pelapukan dan pengelupasan kulit batuan yang terus berlanjut. Lukisan pada dinding gua prasejarah umumnya mengalami kerusakan yang sama, selain terjadi pengelupasan juga terjadi retakan mikro dan makro. Di beberapa tempat warna lukisan memudar terutama lukisan yang terletak di bagian dinding depan mulut gua (Suhartono, 2012).

Gua di Sulawesi Selatan banyak di jumpai kerusakan pada lukisan dinding gua terutama pada bagian depan atau mulut gua. Selain itu, banyak pula terjadi inkrustasi atau pengendapan kapur pada kulit batuan yang juga menyebabkan lukisan menjadi buram dan terkelupas. (Said dkk., 2007).

Studi terbaru menunjukkan bahwa pengelupasan permukaan batu kapur yang menjadi dasar bagi lukisan-lukisan Pleistosen merupakan faktor utama. Pengerasan permukaan terjadi karena pengendapan zat terlarut pada batu kapur membentuk lapisan keras yang tahan lama. Namun, garam-garam geologi, terutama mineral sulfat gipsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), mudah terakumulasi dalam ruang kosong di bawah permukaan yang diperkeras oleh pelarutan semen. Perubahan suhu dan kelembaban relatif menyebabkan kristal gipsum mengembang lalu berkontraksi sehingga seiring



perpindahan gipsum terlepas dari permukaan batu kapur. Akibatnya, sebagian lukisan seni Pleistosen di Maros-Pangkep menjadi tergores dan tidak terawat

dengan baik (Gagan dkk., 2022)

Penilaian sistematis terhadap tingkat kehilangan seni lukisan purbakala di beberapa situs gua baru dilakukan sejak 2018. Karena itu, hingga saat ini, belum ada hasil pengukuran yang pasti untuk memvalidasi laju kerusakan. Peningkatan frekuensi dan tingkat keparahan kekeringan yang diakibatkan oleh El Niño di Sulawesi menjadi ancaman terbesar bagi seni lukisan purbakala Maros-Pangkep (Gagan dkk., 2022).

Beberapa penelitian terdahulu (Nurhuda N. Hasan (Leang. Jarie), Sindy Y. Linggi (Leang Jing), Haerul Firmansyah (Leang Parewe) dan Arsyih Arjuna (Leang Pettae) menyatakan bahwa lukisan dinding gua menghadapi ancaman kerusakan dari faktor alam, terutama akibat perubahan lingkungan. Kenaikan suhu pada siang hari dan penurunan yang tajam pada malam hari menciptakan perbedaan temperatur yang menyebabkan tekanan pada lapisan luar batuan tempat lukisan tersebut terletak. Situasi dan kondisi ini telah berlangsung lama, yang menyebabkan pengelupasan lapisan luar batuan. Pengelupasan ini juga berdampak pada terlepasnya lukisan dinding (E. C. Permana, 2015).

Dengan adanya aktivitas penambangan, keseharian masyarakat, aktivitas industri, peningkatan alat-alat mekanis, turut menghasilkan polusi dan limbah. Fakta-fakta tersebut identik dengan penyebab terjadinya kerusakan lingkungan, terlebih lagi lingkungan karst yang dikenal sebagai sebuah sistem lingkungan yang rapuh.

Ketidakstabilan pada satu bagian akan menjadi pemicu kerusakan pada bagian lain,



tersebut akan berdampak sistemik pada lingkungan makro. Sebagian menganggap bahwa kondisi gambar-gambar prasejarah di gua-gua yang

berada dalam lingkungan karst ini sangat dipengaruhi oleh sistem lingkungan yang rapuh tersebut. Disimpulkan secara gamblang bahwa laju kerusakan pada gambar menjadi sangat cepat sejak kehadiran tambang dan industri semen di kawasan pada beberapa dekade terakhir (Rustan dkk., 2019).

Industri semen merupakan salah satu penyumbang polusi udara terbesar di dunia karena tingkat konsumsi energi dan potensi emisi debu yang tinggi. Hal ini menjadi sumber polusi udara. Emisi udara dari industri semen mengandung zat-zat kimia yang berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan hidup, seperti CO₂, NO₂, SO₂, partikel-partikel dan beberapa mikropolutan (Anand dkk., 2006).

Oleh sebab itu, dilakukan penelitian agar dapat menghitung kerusakan lukisan dan menganalisis penyebab kerusakan yang dapat mengancam keselamatan dan kelestarian kawasan gua-gua prasejarah dan lukisan yang ada di dalamnya.

I.2 Ruang Lingkup

Penelitian ini dibatasi oleh analisis persentase kerusakan dan laju kerusakan lukisan purbakala di Leang Bulusipong 4 Kabupaten Maros menggunakan data citra lukisan purbakala serta pengaruh temperatur, kelembaban, dan angin terhadap kerusakan lukisan dari tahun 2019 sampai tahun 2022 dengan metode *image processing* dan metode *multiple regression*.

I.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana persentase kerusakan dan laju kerusakan lukisan purbakala Leang sipong 4 yang terjadi antara tahun 2019 sampai 2022?
2. Bagaimana pengaruh temperatur, kelembaban, dan angin terhadap laju



kerusakan purbakala Leang Bulusipong 4 yang terjadi pada tahun 2019 sampai 2022?

I.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui jumlah persentase kerusakan dan laju kerusakan lukisan purbakala Leang Bulusipong 4 dengan metode *image processing* yang terjadi antara tahun 2019 sampai 2022.
2. Menganalisis korelasi antara data temperatur, kelembaban, dan angin terhadap laju kerusakan lukisan purbakala Leang Bulusipong 4 yang terjadi pada tahun 2019 sampai 2022.

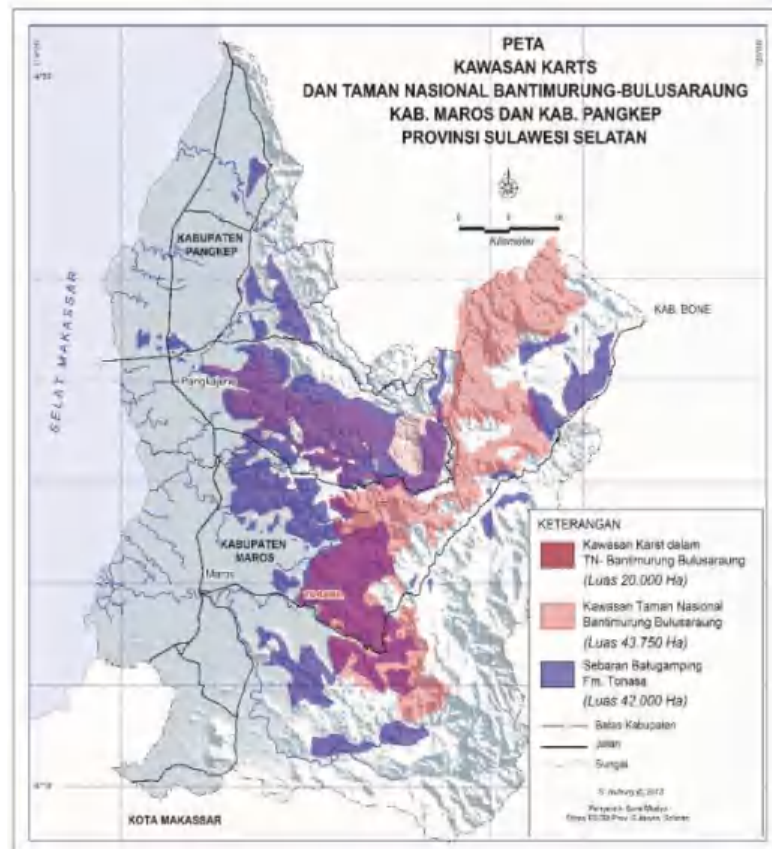


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Kawasan Karst Maros-Pangkep

Provinsi Sulawesi Selatan memiliki kawasan karst yang terletak di Kabupaten Maros dan Pangkep, yang telah menjadi salah satu kawasan UNESCO *Global Geopark*. Kawasan ini memiliki tipe karst Menara (*tower karst*) yang sangat khas, sejenis dengan karst yang ada di China Selatan dan Vietnam (Samodra, 2001).



Gambar 2. 1 Peta Kawasan Maros-Pangkep (Nuhung, 2016)



Optimized using
trial version
www.balesio.com

wilayah administrasi Kabupaten Maros yang masuk dalam kawasan karst
ari sembilan kecamatan, sedangkan kawasan karst yang masuk di
n Pangkep terdiri dari empat kecamatan. Sebagian kecamatan di

Kabupaten Maros yang masuk dalam kawasan karst seluas 24.637,79 ha yang dapat diuraikan menurut kecamatan yaitu Kecamatan Bantimurung dengan luas 9.053,56 ha, Kecamatan Bontoa seluas 1553,59 ha, Kecamatan Camba seluas 574,87 ha, Kecamatan Cenrana seluas 2.320,11 ha, Kecamatan Lau seluas 3,00 ha, Kecamatan Mallawa seluas luas 3.240,11 ha, Kecamatan Simbang seluas 4.841,31 ha, Kecamatan Tanralili seluas 522,52 ha dan Kecamatan Tompu Bulu dengan luas 2.528,79 ha. Selain kabupaten Maros, sebagian kecamatan di Kabupaten Pangkep yang masuk dalam kawasan karst seluas 15.379,17 ha yang sebagian masuk dalam Kecamatan Balocci seluas 6.226,01 ha, Kecamatan Bungoro seluas 449,90 ha, Kecamatan Minasa Tene seluas 4.449,99 ha dan Kecamatan Tondong dengan luas 4.206,27 ha (Fatinaware & Fauzi, 2019).

Kawasan karst di Kabupaten Maros-Pangkep (Taman Nasional Bantimurung-Bulusaraung) telah ditetapkan sebagai Kawasan Ekosistem Esensial melalui Keputusan Gubernur Sulawesi Selatan No.1489/V/2011 tanggal 4 Mei 2011. Salah satu rencana tindak lanjut untuk keputusan tersebut adalah pembentukan Konsorsium, Pemetaan MPKA, Penyelarasan rencana aksi pengelolaan ekosistem Karst Maros-Pangkep, Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung, Zonasi Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung, Zonasi Situs Prasejarah, dan RTRW Kecamatan Maros dan Pangkep, pemantauan dan evaluasi pelaksanaan rencana aksi untuk pengelolaan ekosistem esensial dan kerjasama nasional/internasional di kawasan Maros-Pangkep (Duli dkk., 2019).





Gambar 2. 2 Kawasan Karst Maros-Pangkep (Achmed & Hamzah, 2016)

Di beberapa gugusan di kawasan karst ini terdapat gua-gua prasejarah yang berada di dasar tebing terjal perbukitan karst yang memiliki puncak bukit seperti bentuk menara dengan ketinggian 200-500 meter di atas permukaan laut. Perbukitan karst membentang dari Pangkep ke selatan di Maros sejauh + 45 km dan memiliki jarak dari bukit ke garis pantai 8–12 km di Pangkep, dan 14–25 km di Maros. Berdasarkan data Badan Pengelola Taman Nasional Bantimurung Bulusaraung, kawasan karst Maros Pangkep memiliki potensi hutan yang cukup besar, terdiri dari taman nasional, hutan lindung, dan total hutan produksi mencapai 17.041,79 ha. Keberadaan hutan yang berada dalam gugusan karst ini menjadikannya hutan karst. Hutan karst Maros-Pangkep menyimpan kekayaan hayati karena merupakan rumah bagi satwa endemik dan langka. Salah satunya adalah Kera Hitam Sulawesi atau



Maura yang terancam punah. Selain itu, ada 125 jenis kupu-kupu yang
 kawasan karst ini (Duli dkk., 2019).

II.2 Lukisan Purbakala

Kawasan karst Maros-Pangkep sering diidentikkan dengan hasil tambang sementara banyak yang tidak mengetahui bahwa kawasan karst memiliki nilai ekonomi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan mengandalkan hasil non-tambang. Nilai ekonomi kawasan karst non pertambangan seperti nilai estetika atau keindahan yang dimiliki, bentuk alam atau geomorfologi, keunikan kawasan karst yang terdapat di beberapa tempat dan adanya gua-gua indah yang terdapat di bawah permukaan tanah. Semua nilai ekonomi non tambang ini pada akhirnya akan habis karena pembangunan terus ada dan akan meninggalkan banyak kerusakan jika kurangnya kesadaran masyarakat untuk selalu melestarikannya (Duli dkk., 2019).

Terdapat beragam terminologi yang dikenal dewasa ini mengenai penyebutan lukisan gua prasejarah, dan yang mengemuka saat ini adalah gambar cadas. Selain gambar cadas, dikenal pula istilah cap tangan atau hand stencil, gambar tangan, gambar telapak tangan dan gambar bayangan tangan. Penggunaan kata tangan cukup dominan dikarenakan di Indonesia banyak temuan berupa figur tangan. Di luar negeri disebut dengan istilah yang lebih umum yaitu rock art, baik itu berupa painting ataupun engraving. Istilah lukisan gua dan gambar cadas akan dipergunakan secara bergantian dengan asumsi makna merujuk pada *rock art painting*. Sepuluh tahun terakhir penelitian arkeologi mengenai lukisan gua prasejarah di Indonesia mengalami peningkatan yang signifikan (Mulyadi, 2016).

Salah satu kawasan yang memiliki banyak cagar budaya adalah kawasan karst Maros dan Pangkep di Provinsi Sulawesi Selatan. Di kawasan karst (karst) terdapat gua-gua yang pada masa prasejarah dihuni oleh



manusia. Selain sebagai tempat tinggal, dinding-dinding gua digunakan sebagai media untuk mengekspresikan pengalaman, perjuangan dan harapan hidup manusia dalam bentuk lukisan gua. Seni lukis pertama kali lahir ketika manusia mulai diliputi oleh rasa iseng dan juga rasa takut terhadap lingkungannya, lebih-lebih setelah mereka tinggal di dalam gua atau ceruk. Rasa iseng tersebut diduga diawali dengan usaha meniru bekas garutan kuku binatang pada dinding gua atau ceruk, yang kemudian tanpa disadari telah menghasilkan bentuk-bentuk yang dikehendaki, antara lain model binatang (Suhartono, 2012).

Persebaran situs gambar cadas di Pulau Sulawesi secara administratif terdapat di empat provinsi yaitu Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Tengah dan Gorontalo. Sampai saat ini sebaran situs gambar cadas paling banyak ditemukan di wilayah Sulawesi Selatan, mengingat di wilayah ini paling intensif dilakukan penelitian dibandingkan wilayah lain di Sulawesi. Kawasan karst Maros-Pangkep ini merupakan bentangan perbukitan karst yang memanjang dari selatan ke utara, pada dasarnya merupakan satu kesatuan kawasan karst, dan mengandung satu kesatuan budaya yang tidak terpisahkan oleh batas administrasi Kabupaten Maros dan Kabupaten Pangkep (C. E. Permana dkk., 2018).

Lukisan di dinding gua prasejarah (*rock art/rock painting*) adalah temuan arkeologis yang khas dan unik karena bentuk dan sifatnya. Dari sisi bentuk, ekspresi senimannya menunjukkan bentuk-bentuk yang terkait langsung pada diri mereka dan lingkungannya, misalnya bagian tubuh seperti telapak tangan, kaki, ataupun

uhnya sendiri. Selain itu, berbagai jenis warna seringkali digunakan untuk an ekspresinya, seperti merah (model 1), hitam, ungu, kuning, dan putih.



Sedangkan dari sifatnya, menjadi khusus karena tingkat kerentanan terhadap kerusakan, tetapi terbukti bertahan hingga 40,000 tahun setelah pembuatannya. Bentuk-bentuk yang ditemui saat ini merupakan hasil daripada proses alam dan budaya, sebagaimana benda-benda lainnya yang memiliki sifat yang mudah rusak sehingga harus di jaga kelestariannya (C. E. Permana dkk., 2018).



Gambar 2. 3 Lukisan Anoa di dinding gua Bulusipong 4 (Monitoring BPCB)

Selain *rock art*, istilah yang sering juga dipergunakan adalah *cave art*. Terlepas dari berbagai penyebutan istilah yang berbeda tersebut, sejatinya mengacu pada objek budaya yang sama. Perbedaan itu umumnya lebih disebabkan pada perbedaan cara pandang atau pendekatannya. Bahkan di Indonesia sendiri memiliki penyebutan yang juga berbeda-beda, ada yang menyebutnya lukisan gua, lukisan prasejarah, lukisan dinding gua, lukisan cadas, gambar cadas, seni cadas, lukisan dinding gua, dan ada pula yang menyebutnya dengan lukisan batu karang. Dalam tulisan ini, untuk pengertian yang lebih biasa dan lebih umum, digunakan istilah lukisan gua. Walaupun harus diakui bahwa lukisan dinding prasejarah itu tidak dapat pada “gua”, tetapi juga pada dinding tebing atau bongkahan batu.



Namun, karena kasus yang dibicarakan adalah situs-situs yang terdapat di Sulawesi Selatan dan Kalimantan Timur yang umumnya berbentuk “gua”, maka tidaklah salah menggunakan istilah tersebut (C. E. Permana dkk., 2018).

II.3 Leang Bulusipong 4

Kajian arkeologi yang telah dilakukan di kawasan ini semakin memperkuat pentingnya gua prasejarah tersebut, penelitian terbaru menempatkan lukisan gua prasejarah di salah satu gua yang ada di Maros sebagai gua prasejarah tertua di dunia. Hal ini diketahui dari hasil pengukuran peluruhan radio aktif dari uranium dan elemen lainnya dari pembentukan mineral yang terjadi di Leang Bulusipong 4 yang diperkirakan berusia antara 35.100 sampai 43.900 tahun yang lalu, dengan usia minimal 39.600 tahun berdasarkan seri penanggalan uranium. Hasil penelitian ini dipublikasikan di Nature Journal. Hal inilah yang kemudian menarik para peneliti dari luar negeri untuk melakukan penelitian di wilayah tersebut. Potensi tersebut harus dimanfaatkan secara optimal untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat, sebagaimana diamanatkan dalam Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2010 tentang Cagar Budaya. Salah satu upaya yang dapat dilakukan yaitu melibatkan masyarakat dalam pemanfaatan kawasan cagar budaya gua prasejarah Maros Pangkep (Duli dkk., 2019).

Menurut pengamat situs, cekungan tersebut merupakan bekas tambang milik PT Semen Tonasa. Vegetasi yang ada di sekitar situs terdiri dari tanaman keras seperti Pohon Beringin, Jati Putih, Trembesi, Asam Jawa, dan semak belukar. Di pintu



ua, terdapat papan peringatan yang ditempelkan kepada pengunjung yang mengunjungi gua. Saat ini, status lahan situs tersebut berada dalam kawasan

taman Kehati (Keanekaragaman Hayati) PT Semen Tonasa Indonesia (Persero) dan dalam perlindungan Balai Pelestarian Cagar Budaya (BPCB) Sulawesi Selatan. Dalam status ini, pengunjung dengan tujuan khusus yang telah mendapatkan izin dari perusahaan dan BPCB Sulawesi Selatan dapat mengunjungi situs gua ini (Yusrina dkk., 2020).

Faktor kedekatan gua dengan industri semen, berpotensi untuk mempercepat penurunan kualitas lukisan dinding gua. Walaupun hal ini masih bersifat asumsi, namun perlu diperhatikan bahwa aktivitas peledakan bisa saja berdampak pada getaran dinding gua. Dampak dari getaran dari sebuah peledakan apalagi jika dalam skala yang besar dapat merambat di dalam batuan gamping. Getaran tersebut dapat mudah mencapai gua sehingga paling sedikit menyebabkan terjadinya pengelupasan kulit batuan yang memang kondisinya sudah rapuh. Dengan demikian getaran dapat menyebabkan rusaknya warisan budaya. Selain itu, letak situs yang berhadapan dengan jalur truk pengangkut tanah yang lalu lalang setiap 1 jam, menghasilkan kumpulan debu yang bisa saja masuk dan melapisi lukisan dinding gua. Dengan kondisi alami ruang gua yang lembab akan menimbulkan koloni mikroorganisme pada lukisan (Yusrina dkk., 2020).





Gambar 2. 4 Lokasi Leang Bulusipong 4 dan PT Semen Tonasa (Google Earth)

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. Adanya fluktuasi temperatur yang besar dalam sehari baik di musim kemarau dan musim hujan, waktu temperatur naik 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 (*stress*) sering dialami oleh lapisan luar. Tekanan menyebabkan terkelupas lapisan luar batuan menjadi lapisan



skipun ekspansi termal ini disebabkan oleh perubahan temperatur, proses iperparah oleh adanya kelembaban yang tinggi. Dugaan ini diperkuat oleh wa lukisan yang berada di mulut gua (terbuka) memiliki tingkat kerusakan

lukisan yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang berada di bagian dalam gua (Mulyadi, 2016).

II.5 Kelembaban

Tingkat kelembaban dengan mudah memicu pertumbuhan mikroorganisme yang terjadi dalam gua-gua prasejarah. Air yang terdapat di dalam dan di sekitar lingkungan gua merupakan salah satu penyebab terjadinya kelembaban dalam gua, sehingga dengan mudah dapat memicu pertumbuhan mikroorganisme seperti *algae* dan *moss*. Pertumbuhan mikroorganisme ini akan mempercepat terjadinya pelapukan pada bagian lapisan batuan dan lukisan. Pada musim kemarau algae dan moss akan kering, hal ini dikhawatirkan akan menyebabkan pengelupasan (Susanti, 2016). Kelembaban juga memainkan peran penting dalam eflorensi karena proses ini bergantung pada penyerapan air oleh material, yang kemudian mengangkut garam-garam yang larut menuju permukaan. Ketika air tersebut menguap, garam-garam tersebut terjebak di permukaan dan membentuk kristal-kristal.

Contoh kasus kerusakan yang terjadi pada gua-gua prasejarah yaitu dapat kita temukan pada Leang Lompoa. Pada tahun 2007 lukisan cap tangan masih nampak jelas dan masih teridentifikasi, namun bagian lapisan batuan sudah mengalami pengelupasan dan penggaraman. Pengelupasan lapisan batuan nampak pada bagian atas lukisan cap tangan dan di sekitar lukisan tersebut terdapat juga aliran air yang memicu terjadinya pengelupasan dan penggaraman permukaan lapisan batuan.

Namun demikian kerusakan lukisan tersebut dibiarkan tanpa ada upaya apapun.



in 2015 tampak bahwa lukisan tersebut hampir semuanya tertutup algae. ahan tersebut apabila dibiarkan tanpa ada upaya apapun dapat

menyebabkan hilangnya lukisan cap tangan, karena lama kelamaan akan terjadi pengelupasan akibat mengeringnya algae yang menutupi lukisan tersebut. Kondisi lukisan manusia di Leang Lompoa juga sangat parah. Di tahun 2007 kondisi tiga lukisan manusia yang ada di gua tersebut masih nampak jelas demikian pula lapisan dinding gua yang memiliki lukisan belum mengalami pengelupasan yang parah. Pada tahun 2015 lukisan tersebut hanya tersisa satu dan sudah tidak utuh, sedangkan dua lukisan lainnya sudah terkelupas dan hilang. Batuan dinding juga nampak parah karena hampir semua batuan dinding mengalami pengelupasan (Susanti, 2016). Pada musim hujan mulut gua yang tidak terlindungi akan terkena air hujan secara terus menerus. Air hujan dapat bersifat asam karena karbon dioksida atmosfer larut dalam air hujan menghasilkan asam karbonat. Dalam lingkungan tidak tercemar, pH air hujan sekitar 5,6. Oksida ini dalam air hujan menghasilkan asam kuat dan menurunkan pH sampai 4,5 atau 3,0 (Suhartono, 2012). Sulfur dioksida ini dapat berasal dari lingkungan yang tercemar akibat gas buangan dari kendaraan bermotor. Air hujan yang bersifat asam ini dapat menyebabkan pelapukan pada lapisan luar/permukaan batuan yang terkena air hujan. Hal ini diperparah juga dengan kondisi pelataran dan akses masuk ke beberapa gua yang tergenang air pada saat musim hujan, sehingga tingkat kelembaban semakin meningkat (Susanti, 2016).

II.6 Arah dan Kecepatan Angin

Dengan terbukanya lingkungan memudahkan angin masuk ke dalam gua secara langsung mengenai lukisan. Faktor angin ini mempercepat terjadinya pengelupasan



berluar dari dinding gua yang mengandung lukisan yang telah mengalami kerusakan. Dari data lapangan, menunjukkan bahwa kondisi kerusakan lukisan

yang cukup parah terutama terjadi pada lukisan yang terletak pada bagian mulut gua dan tidak terlindung oleh salatif, pepohonan dan lainnya sebagainya. Dari beberapa pengamatan langsung di lokasi terlihat bahwa tingkat kerusakan lukisan yang terletak dekat mulut gua dan lingkungannya terbuka cenderung lebih besar daripada lukisan yang letaknya tersembunyi dan terlindungi oleh pepohonan. Hal ini dapat dilihat pada lukisan di gua Burung, gua Jarie, dan beberapa gua lainnya (Suhartono, 2012)

Angin dapat memiliki berbagai pengaruh terhadap kerusakan lapisan batuan yang mengandung lukisan. Angin dapat membawa partikel kecil, pasir, atau debu yang dapat mengakibatkan erosi fisik pada lapisan permukaan batuan. Partikel-partikel ini, ketika terbawa angin dengan kecepatan tinggi, dapat bertindak seperti alat pengikis yang mempengaruhi integritas lapisan lukisan. Angin yang membawa polutan atau partikel kimia tertentu dapat bereaksi dengan bahan lapisan lukisan batuan, mempercepat korosi atau degradasi bahan lapisan (Selvaggio M. dkk., 2012).

Untuk menentukan nilai angin dilakukan konversi menggunakan persamaan berikut:

$$W = 0,5 \times A (1 - \cos (D - O))$$

Di mana:

A = Kecepatan Angin

D = Arah Angin

O = Arah Bukaan Gua





Gambar 2. 5 Mulut Gua Leang Bulusipong 4 (Virtual *Tour* BPCB Sulawesi Selatan)

II.7 Metode *Image Processing*

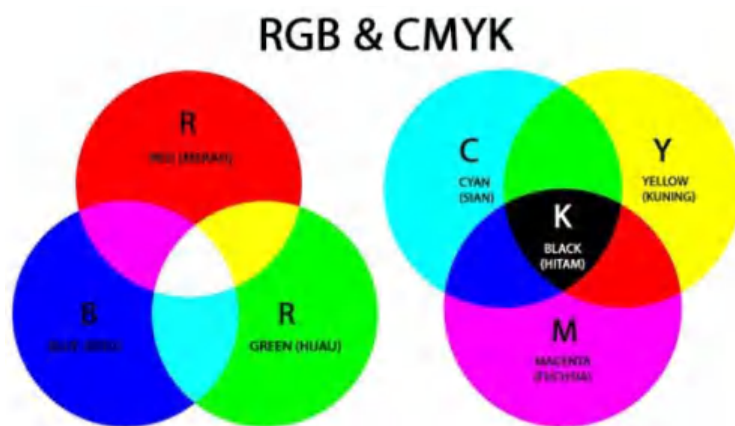
Pengolahan citra adalah kegiatan memperbaiki kualitas citra agar mudah diinterpretasi oleh manusia/mesin (komputer). Inputannya adalah citra dan keluarannya juga citra tapi dengan kualitas lebih baik daripada citra masukan. Misal citra warnanya kurang tajam, kabur (blurring), mengandung noise (misal bintik-bintik putih), sehingga perlu ada pemrosesan untuk memperbaiki citra karena citra tersebut menjadi sulit diinterpretasikan dan informasi yang disampaikan menjadi berkurang. Teknik-teknik pengolahan citra mentransformasikan citra menjadi citra lain. Jadi, masukannya adalah suatu citra dan keluarannya juga citra, namun citra keluaran mempunyai kualitas lebih baik daripada citra masukan (Favoria, 2013).

Dalam pengolahan citra, istilah citra mengacu pada suatu fungsi intensitas dalam bidang dua dimensi. Pemrosesan citra menggunakan komputer membutuhkan citra



bagai masukannya. Citra yang baik adalah citra yang memiliki kualitas yang sesuai dengan gambar aslinya serta memiliki informasi yang lengkap dan sesuai dengan apa yang kita inginkan. Namun seringkali citra mengalami

penurunan kualitas citra misalnya, terjadinya cacat pada citra (derau), terlalu kontras, kurang tajam warnanya, terlalu lembut dan lain sebagainya. Citra yang seperti ini lebih sulit untuk diinterpretasikan, karena informasi yang disampaikan menjadi kurang sempurna atau berkurang kualitasnya. Dengan adanya kekurangan-kekurangan ini maka citra tersebut harus dimanipulasi menjadi citra baru yang kualitasnya lebih baik dari citra sebelumnya (Favoria Gusa, 2013).



Gambar 2. 6 Komposisi Gambar RGB dan CMYK (Nurraharjo dan Santoso, 2018)

Berdasarkan nilai pikselnya, citra digital dapat dikelompokkan ke dalam tiga jenis citra, yaitu:

1. Untuk citra berwarna maka digunakan model RGB (Red-Green-Blue), satu citra berwarna dinyatakan sebagai 3 buah matrik grayscale yang berupa matrik untuk Red (R-layer), matrik Green (G-layer) dan matrik untuk Blue (B-layer), R-layer adalah matrik yang menyatakan derajat kecerahan untuk warna merah (misalkan untuk skala keabuan 0-255, nilai 0 menyatakan gelap (hitam) dan 255 menyatakan merah. G-layer adalah matrik yang menyatakan derajat kecerahan untuk warna hijau, dan B-layer adalah matrik yang menyatakan derajat kecerahan untuk warna biru. Dari definisi tersebut,



untuk menyajikan warna tertentu dapat dengan mudah dilakukan, yaitu dengan mencampurkan ketiga warna dasar RGB (Mulyawan dkk., 2011).

2. Warna CMY merupakan hasil dari campuran warna merah, hijau, dan biru. Dua warna dikatakan komplementer (campuran) karena warna yang digabung dengan jumlah persentasi yang sama akan mendapatkan warna putih. Contoh Cyan dicampurkan dengan red akan menghasilkan warna putih, maka dapat dikatakan bahwa cyan merupakan komplemen warna Cyan (Munir, 2004). Model warna CMY dapat dipakai agar menghasilkan citra berwarna, disebabkan karena adanya ketidakmaksimalan tinta, model CMY tidak bisa mengeluarkan warna hitam yang sempurna. Oleh sebab itu warna CMY diperbaiki lagi dengan model CMYK, dimana K merupakan gabungan dari warna keempat.
3. Citra *grayscale* merupakan citra digital yang hanya memiliki satu nilai kanal pada setiap pikselnya, dengan kata lain nilai bagian red = green = blue. Nilai tersebut digunakan untuk menunjukkan tingkat intensitas. Warna yang dimiliki citra grayscale adalah warna keabuan dengan berbagai tingkatan dari hitam hingga putih. Citra grayscale dapat diperoleh dari citra RGB. Nilai intensitas citra grayscale (keabuan) dihitung dari nilai intensitas citra RGB dengan menggunakan persamaan Nilai keabuan = $0,2989 * R + 0,5870 * G + 0,1140 * B$ (Favoria Gusa, 2013).
4. Citra biner adalah citra digital yang hanya memiliki dua kemungkinan nilai ksel yaitu hitam (0) dan putih (1). Citra biner juga disebut sebagai citra w (black and white) atau citra monokrom. Citra biner sering muncul



sebagai hasil dari proses pengambangan (thresholding). Secara umum, proses pengambangan citra *grayscale* untuk menghasilkan citra biner adalah sebagai berikut: $g(x, y) = \{ 1 \text{ jika } f(x, y) \geq T \ 0 \text{ jika } f(x, y) < T \}$ (Favoria Gusa, 2013).

II.8 Metode *Multiple Regression* (MR)

Analisis regresi dapat didefinisikan sebagai metode statistika yang digunakan untuk mengetahui hubungan fungsional linear antara satu variabel respon dengan satu variabel prediktor. Terdapat dua jenis variabel dalam analisis regresi yaitu variabel respon atau disebut dengan variabel dependen (Y) dan variabel prediktor atau disebut variabel independen (X). Variabel respon (Y) dinyatakan juga sebagai variabel yang dipengaruhi dan variabel prediktor (X) dinyatakan juga sebagai variabel yang mempengaruhi. Terdapat dua jenis analisis regresi linier yaitu analisis regresi linier sederhana dan analisis regresi linier berganda. Analisis regresi linier sederhana hanya melibatkan satu variabel prediktor sedangkan analisis regresi linier berganda melibatkan dua atau lebih variabel prediktor Regresi linear berarti bahwa variabel respon (Y) berkaitan linear dengan variabel prediktor (X) dalam bentuk persamaan linear yang dapat dinyatakan sebagaimana persamaan berikut (Sulistiyowati & Astuti, 2017).

$$Y = a + bx \dots \dots \dots (2.1)$$

Di mana, a dan b adalah dua parameter pada analisis regresi yang disebut sebagai *intercept* (a) dan *slope* (b)



Regression (MR) dapat dirumuskan sebagai berikut (Kutner dkk., 2004):

$$b_1X_1 + b_2X_2 + b_nX_n \dots \dots \dots (2.2)$$

Di mana :

Y : Variabel Terikat / Hasil Regresi

X₁X₂ : Variabel Bebas / Prediktor

a : Konstanta

b₁b₂ : Koefisien Regresi

Untuk menentukan nilai a, b₁, b₂ digunakan metode kuadrat terkecil (*Least Square*) dapat dirumuskan sebagai berikut (Kutner dkk., 2004):

$$\bar{X}_1 = \frac{\sum X_1}{n} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\bar{X}_2 = \frac{\sum X_2}{n} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{n} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$b_1 = \frac{(\sum X_2^2)(\sum X_1 Y) - (\sum X_1 X_2)(\sum X_2 Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1 X_2)^2} \dots (2.6)$$

$$b_2 = \frac{(\sum X_1^2)(\sum X_2 Y) - (\sum X_1 X_2)(\sum X_1 Y)}{(\sum X_1^2)(\sum X_2^2) - (\sum X_1 X_2)^2} \dots (2.7)$$

$$a = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2 \dots\dots\dots (2.8)$$

Di mana :

$\bar{X}_1 \bar{X}_2$: Jumlah rata-rata variabel bebas/prediktor

\bar{Y} : Jumlah rata-rata variabel terikat/hasil regresi

N : Jumlah data



Analisis Pearson

korelasi yaitu metode statistika yang digunakan untuk menentukan suatu yang menyatakan bagaimana kuat lemahnya hubungan antara suatu

variabel dengan variabel lain dengan tidak mempersoalkan apakah suatu variabel tertentu tergantung kepada variabel lain. Semakin nyata hubungan linier maka semakin kuat atau tinggi derajat hubungan garis lurus antara kedua variabel tersebut. Terdapat beberapa teknik korelasi yang sangat populer sampai sekarang seperti Korelasi *Pearson Product Moment*, Korelasi *Rank Spearman*, Korelasi Parsial, Korelasi Kontingensi, Korelasi Eta, Korelasi Kendall's Tau, Korelasi *Point Serial* (Tunggal) dan Korelasi Liliefors (Miftahuddin dkk., 2021).

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. Korelasi *Pearson* digunakan untuk mengetahui tingkat atau keeratan hubungan antara dua variabel atau dua fitur objek. Koefisien korelasi adalah ukuran yang dipakai untuk mengetahui derajat hubungan antara variabel-variabel. Besarnya nilai korelasi *Pearson* dapat dilihat pada persamaan berikut (Miftahuddin dkk., 2021)

$$r_{xy} = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[\sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - \sum y^2]}} \dots\dots\dots (2.9)$$

Di mana :

- x : Variabel pertama
- y : Variabel kedua
- n : Banyaknya pengamatan

Koefisien korelasi adalah ukuran yang dipakai untuk mengetahui derajat hubungan variabel-variabel. Nilai koefisien korelasi berada di antara negatif 1 sampai yaitu dapat dilihat pada Tabel 1 berikut:



Tabel 2. 1 Kriteria Korelasi Pearson

R	Interpretasi
0	Tidak berkorelasi
0,01 s/d 0,20	Sangat rendah
0,21 s/d 0,40	Rendah
0,41 s/d 0,60	Agak rendah
0,61 s/d 0,80	Cukup
0,81 s/d 0,99	Tinggi
1	Sangat tinggi

Hubungan antara dua variabel linier sempurna, bila sebaran data tersebut akan membentuk garis lurus. Sekalipun demikian pada kenyataannya tidak mudah mendapatkan atau menemukan data yang dapat membentuk garis linier sempurna (Miftahuddin dkk., 2021).

II.10 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 antara observasi dengan nilai hasil prediksi, dapat di hitung dengan menggunakan persamaan (Khusna dkk, 2021) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_o - Y_p)^2}{n}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Dengan:

X_o = Data observasi

Y_p = Data prediksi

n = Jumlah data

