

## DAFTAR ISI

|   |      |
|---|------|
| HALAMAN JUDUL.....  | i    |
| HALAMAN PENGESAHAN.....   | ii   |
| HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....   | iii  |
| HALAMAN PERNYATAAN KEBENARAN DOKUMEN .....  | iv   |
| KATA PENGANTAR.....   | v    |
| DAFTAR ISI .....  | vii  |
| DAFTAR GAMBAR .....   | xi   |
| DAFTAR TABEL.....   | xiii |
| DAFTAR SKRIP.....   | xiv  |
| DAFTAR RUMUS.....   | xv   |
| INTISARI.....   | xvi  |
| <i>ABSTRACT</i> .....   | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN .....   | 1    |
| 1.1 Latar Belakang .....  | 1    |
| 1.2 Rumusan Masalah .....   | 7    |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....  | 7    |
| 1.4 Manfaat Penelitian.....   | 8    |
| BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....   | 9    |
| 2.1 Kebakaran Hutan dan Lahan (Karhutla).....   | 9    |
| 2.2 <i>Fire Triangle</i> dalam Kebakaran Hutan dan Lahan.....                                       | 10   |
| 2.3 Karakteristik Kawasan Studi: Taman Nasional Bromo Tengger Semeru<br>(TNBTS).....                | 12   |
| 2.4 Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk <i>Monitoring</i><br>Bencana ..... | 12   |
| 2.5 Citra Satelit <i>Sentinel-2</i> .....   | 14   |
| 2.6 Titik Panas ( <i>Hotspot</i> ) FIRMS NASA <i>Fire Points</i> .....                              | 15   |
| 2.7 <i>Google Earth Engine</i> (GEE) .....  | 17   |
| 2.8 Analisis Tingkat Keparahan Kebakaran ( <i>Burn Severity</i> ) .....                             | 18   |
| 2.9 Parameter Topografi dalam Dinamika Kebakaran .....  | 19   |
| 2.10 Parameter Arah dan Kecepatan Angin dalam Penyebaran Kebakaran .....                            | 20   |
| 2.11 Pemantauan Kesehatan Vegetasi.....   | 21   |

|   |           |
|---|-----------|
| 2.12 Pemantauan Pemulihan Vegetasi Berbasis NDVI Bulanan .....        | 22        |
| 2.13 Parameter Curah Hujan terhadap Pemulihan Vegetasi .....          | 24        |
| 2.14 Validasi Akurasi dan Alternatif Indeks .....                     | 25        |
| 2.15 Penelitian Terdahulu.....  | 26        |
| 2.16 Kerangka Berpikir .....  | 29        |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>                                 | <b>30</b> |
| 3.1 Lokasi Penelitian .....   | 30        |
| 3.2 Ruang Lingkup Penelitian .....                                    | 31        |
| 3.2.1 Ruang Lingkup Spasial .....                                     | 31        |
| 3.2.2 Ruang Lingkup Temporal .....                                    | 32        |
| 3.2.3 Ruang Lingkup Data .....  | 33        |
| 3.2.4 Ruang Lingkup Metode dan Analisis.....                          | 35        |
| 3.2.5 Batasan Penelitian .....  | 38        |
| 3.3 Alat dan Bahan Penelitian .....                                   | 39        |
| 3.3.1 Alat Penelitian .....   | 39        |
| 3.3.2 Bahan Penelitian.....   | 41        |
| 3.4 Tahapan Penelitian .....  | 42        |
| 3.4.1 Tahap Akuisisi Data.....  | 42        |
| 3.4.1.1 Akuisisi Data Citra Satelit.....                              | 42        |
| 3.4.1.2 Akuisisi Data Geospasial Pendukung .....                      | 43        |
| 3.4.2 Tahap Pra-Pengolahan Data.....                                  | 44        |
| 3.4.2.1 <i>Import Data Shapefile</i> .....                            | 44        |
| 3.4.2.2 Pemanggilan dan Filterisasi Citra Satelit.....                | 44        |
| 3.4.2.3 Pemanggilan Data Geospasial Pendukung.....                    | 45        |
| 3.4.2.4 Koreksi Awan dan <i>Masking</i> .....                         | 46        |
| 3.4.2.5 Pembentukan Komposit Citra .....                              | 47        |
| 3.4.3 Tahap Pengolahan Data.....                                      | 47        |
| 3.4.3.1 Ekstraksi Indeks Pengolahan .....                             | 47        |
| 3.4.3.2 Klasifikasi Tingkat Keparahan Kebakaran .....                 | 50        |
| 3.4.3.3 Perhitungan Luas Area Terdampak.....                          | 51        |
| 3.4.3.4 Analisis Pemulihan Vegetasi Berbasis <i>Time-Series</i> ..... | 52        |
| 3.4.3.5 Ekstraksi Parameter Topografi.....                            | 53        |

|   |     |
|---|-----|
| 3.4.3.6 Ekstraksi Parameter Iklim .....                               | 54  |
| 3.4.3.7 Ekstraksi Parameter Penutup Lahan.....                        | 55  |
| 3.4.4 Validasi Hasil Klasifikasi dan Uji Akurasi .....                | 56  |
| 3.4.5. Tahap Perancangan <i>Dashboard</i> GEE.....                    | 58  |
| 3.5. Verifikasi (Uji Aplikasi <i>Dashboard</i> GEE).....              | 60  |
| 3.6. Hasil Penelitian.....  | 62  |
| 3.7. Diagram Alir Penelitian.....                                     | 63  |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....                                      | 64  |
| 4.1 Tingkat Keparahan Kebakaran dan Pemulihan Vegetasi .....          | 64  |
| 4.1.1 Hasil Ekstraksi Indeks NBR .....                                | 64  |
| 4.1.2 Hasil Ekstraksi Indeks dNBR .....                               | 68  |
| 4.1.3 Hasil Ekstraksi Indeks RdNBR.....                               | 69  |
| 4.1.4 Hasil Ekstraksi NDVI dan $\Delta$ NDVI .....                    | 71  |
| 4.1.5 Tingkat Keparahan Kebakaran.....                                | 76  |
| 4.1.6 Hubungan Tingkat Keparahan Kebakaran dengan Parameter .....     | 80  |
| 4.1.7 Hubungan Tingkat Keparahan Kebakaran dengan Topografi .....     | 80  |
| 4.1.8 Hubungan Tingkat Keparahan Kebakaran dengan Arah Angin .....    | 85  |
| 4.1.9 Luas Kebakaran.....   | 86  |
| 4.1.10 Validasi Hasil Tingkat Keparahan Kebakaran.....                | 88  |
| 4.1.11 Pemulihan Vegetasi Pasca-Kebakaran.....                        | 97  |
| 4.1.12 Tren Pemulihan Vegetasi Pasca-Kebakaran .....                  | 99  |
| 4.1.13 Hubungan Pemulihan Vegetasi dengan Parameter Curah Hujan. .... | 102 |
| 4.2 Visualisasi Interaktif BromoFire Dynamics .....                   | 102 |
| 4.2.1 Visualisasi Hasil Tampilan .....                                | 103 |
| 4.2.2 Hasil Uji Usabilitas Aplikasi.....                              | 109 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....                                       | 115 |
| 5.1 Kesimpulan.....   | 115 |
| 5.2 Saran .....   | 116 |
| DAFTAR PUSTAKA .....  | 118 |
| LAMPIRAN .....  | 124 |
| LAMPIRAN A .....  | 124 |
| LAMPIRAN B .....  | 125 |



UNIVERSITAS  
GADJAH MADA

**SISTEM MONITORING SPASIAL-TEMPORAL BERBASIS GOOGLE EARTH ENGINE UNTUK ANALISIS  
TINGKAT KEPARAHAN  
KEBAKARAN HUTAN MENGGUNAKAN INDEKS DNBR DAN PEMANTAUAN LAJU PEMULIHAN  
VEGETASI PASCA-BENCANA DI  
TAMAN NASIONAL BROMO TENGGER SEMERU**

Maureen Arsa Sanda Cantika, Dr. Barandi Sapta Widartono, S.Si., M.Si., M.Sc.

Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari <http://etd.repository.ugm.ac.id/>

|                  |     |
|------------------|-----|
| LAMPIRAN C ..... | 131 |
| LAMPIRAN D ..... | 135 |
| LAMPIRAN E.....  | 136 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 1.1 Grafik Kejadian Bencana di Indonesia Tahun 2015-2024 .....                       | 3   |
| Gambar 1.2 Grafik Luas Kebakaran Hutan dan Lahan (Ha) di Indonesia Tahun 2015-2024 .....    | 4   |
| Gambar 1.3 Grafik Luas Kebakaran Hutan dan Lahan (Ha) di Jawa Timur Tahun 2015-2024 .....   | 5   |
| Gambar 2.1 Sistem Penginderaan Jauh .....   | 13  |
| Gambar 2.2 <i>Fire Points</i> .....   | 16  |
| Gambar 2.3 <i>Platform Google Earth Engine</i> .....  | 17  |
| Gambar 2.4 Kerangka Berpikir Penelitian .....   | 29  |
| Gambar 3.1 Peta Lokasi Penelitian Taman Nasional Bromo Tengger Semeru ..                    | 300 |
| Gambar 3.2 Sebaran 19 <i>Hotspot</i> FIRMS ( <i>conf</i> >80%) Hasil <i>Filtering</i> ..... | 57  |
| Gambar 3.3 <i>Zona Buffer</i> 300m .....  | 58  |
| Gambar 3.4 <i>Mockup</i> BromoFire Dynamics .....   | 59  |
| Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian .....  | 59  |
| Gambar 4.1 Peta NBR Sebelum Kebakaran Bromo Tahun 2023 .....                                | 65  |
| Gambar 4.2 Peta NBR Setelah Kebakaran Bromo Tahun 2023 .....                                | 66  |
| Gambar 4.3 Hasil Ekstraksi Indeks dNBR.....   | 69  |
| Gambar 4.4 Hasil Ekstraksi Indeks RdNBR.....  | 700 |
| Gambar 4.5 Peta NDVI Sebelum Kebakaran Bromo Tahun 2023 .....                               | 72  |
| Gambar 4.6 Peta NDVI Setelah Kebakaran Bromo Tahun 2023.....                                | 73  |
| Gambar 4.7 Peta Perubahan NDVI Bromo Tahun 2023.....  | 74  |
| Gambar 4.8 Peta Tingkat Keparahan Kebakaran Bromo Tahun 2023.....                           | 78  |
| Gambar 4.9 Peta Sebaran Titik Sampel Tingkat Keparahan Kebakaran .....                      | 811 |
| Gambar 4.10 <i>Scatter Plot</i> Korelasi Keparahan Kebakaran dan Kemiringan Lereng .....    | 84  |
| Gambar 4.11 <i>Scatter Plot</i> Korelasi Keparahan Kebakaran dan Arah Lereng.....           | 84  |
| Gambar 4.12 <i>Scatter Plot</i> Korelasi Keparahan Kebakaran dan Ketinggian Lereng .....    | 84  |
| Gambar 4.13 <i>Scatter Plot</i> Korelasi Keparahan Kebakaran dan Arah Angin.....            | 86  |
| Gambar 4.14 Persentase Luas Kebakaran TNBTS .....   | 87  |
| Gambar 4.15 Peta Titik Panas FIRMS .....  | 91  |

|   |     |
|---|-----|
| Gambar 4.16 Titik Panas BRIN .....                              | 91  |
| Gambar 4.17 Peta Kejadian Kebakaran Savana Gunung Bromo.....    | 96  |
| Gambar 4.18 Peta Laju Pemulihan Vegetasi Bromo 2023 .....       | 98  |
| Gambar 4.19 Grafik Rata-rata Curah Hujan Bulanan AOI Bromo..... | 100 |
| Gambar 4.20 Grafik Tren Pemulihan Vegetasi Bromo.....           | 101 |
| Gambar 4.21 Tampilan BromoFire Dynamics.....                    | 103 |
| Gambar 4.22 Tampilan Judul.....                                 | 104 |
| Gambar 4.23 Tampilan Profil Wilayah Kajian .....                | 104 |
| Gambar 4.24 Tampilan Panduan Penggunaan .....                   | 105 |
| Gambar 4.25 Tampilan Informasi Data .....                       | 106 |
| Gambar 4.26 Tampilan Parameter Analisis .....                   | 106 |
| Gambar 4.27 Tampilan Rentang Waktu.....                         | 107 |
| Gambar 4.28 Tampilan Layer Visualisasi.....                     | 107 |
| Gambar 4.29 Tampilan Grafik Curah Hujan.....                    | 108 |
| Gambar 4.30 Tampilan Tren Pemulihan Vegetasi.....               | 108 |
| Gambar 4.31 Tampilan <i>Credits</i> .....                       | 109 |
| Gambar 4.32 Kategori Responden Berdasarkan Jenis Instansi.....  | 110 |

## DAFTAR TABEL

|   |     |
|---|-----|
| Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Sebelumnya.....   | 28  |
| Tabel 3.1 Rincian Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) beserta Fungsinya.....                            | 39  |
| Tabel 3.2 Rincian Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) beserta Fungsinya .....                           | 40  |
| Tabel 3.3 Rincian Bahan Penelitian .....  | 41  |
| Tabel 3.4 Skema Klasifikasi Tingkat Keparahan Kebakaran USGS .....                                      | 50  |
| Tabel 3.5 Skema Klasifikasi Pemulihan Vegetasi Berdasarkan $\Delta$ NDVI.....                           | 53  |
| Tabel 3.6 Daftar Pertanyaan Uji Usabilitas <i>Dashboard</i> GEE.....                                    | 61  |
| Tabel 4.1 Nilai Statistik NBR Sebelum dan Setelah Kebakaran .....                                       | 66  |
| Tabel 4.2 Nilai Statistik NDVI Sebelum dan Setelah Kebakaran.....                                       | 75  |
| Tabel 4.3 Korelasi Keparahan Kebakaran dan Kemiringan Lereng .....                                      | 87  |
| Tabel 4.4 Korelasi Keparahan Kebakaran dan Arah Lereng .....  | 87  |
| Tabel 4.5 Korelasi Keparahan Kebakaran dan Ketinggian Lereng.....                                       | 87  |
| Tabel 4.6 Korelasi Keparahan Kebakaran dan Arah Angin.....  | 87  |
| Tabel 4.7 Luas Kebakaran per Kelas Keparahan .....  | 87  |
| Tabel 4.8 <i>Confusion Matrix</i> Validasi Biner Model dengan Titik Panas FIRMS serta Akurasi .....     | 89  |
| Tabel 4.9 <i>Confusion Matrix</i> Validasi Multikelas Model dengan Titik Panas FIRMS serta Akurasi..... | 90  |
| Tabel 4.10 Korelasi Titik Panas FIRMS dengan Data Sekunder.....   | 922 |
| Tabel 4.11 Kejadian Kebakaran TNBTS Tahun 2023 .....  | 93  |
| Tabel 4.12 Titik Lokasi Kebakaran TNBTS Tahun 2023 .....  | 94  |
| Tabel 4.13 Korelasi Pemulihan Vegetasi dan Curah Hujan.....   | 102 |
| Tabel 4.14 Hasil Aspek <i>Learnability</i> .....  | 111 |
| Tabel 4.15 Hasil Aspek <i>Efficiency</i> .....  | 112 |
| Tabel 4.16 Hasil Aspek <i>Memorability</i> .....  | 113 |
| Tabel 4.17 Hasil Aspek <i>Errors</i> .....  | 113 |
| Tabel 4.18 Hasil Aspek <i>Satisfaction</i> .....  | 114 |

## DAFTAR SKRIP

|  |    |
|--|----|
| Skrip 3.1 <i>Import</i> AOI Bromo .....                            | 44 |
| Skrip 3.2 Pemanggilan dan Filterisasi Citra.....                   | 45 |
| Skrip 3.3 Koreksi Awan dan <i>Masking</i> .....                    | 46 |
| Skrip 3.4 Pembentukan Komposit Citra.....                          | 47 |
| Skrip 3.5 Perhitungan NBR.....                                     | 48 |
| Skrip 3.6 Perhitungan dNBR dan RdNBR.....                          | 49 |
| Skrip 3.7 Perhitungan NDVI dan $\Delta$ NDVI .....                 | 50 |
| Skrip 3.8 Klasifikasi Tingkat Keparahan Kebakaran.....             | 51 |
| Skrip 3.9 Perhitungan Luas Area Terdampak .....                    | 51 |
| Skrip 3.10 Perhitungan Total Luas Area Terbakar .....              | 52 |
| Skrip 3.11 Klasifikasi Pemulihan Vegetasi.....                     | 53 |
| Skrip 3.12 Ekstraksi Parameter Topografi .....                     | 53 |
| Skrip 3.13 Ekstraksi Parameter Arah Angin .....                    | 54 |
| Skrip 3.14 Ekstraksi Parameter Curah Hujan .....                   | 55 |
| Skrip 3.15 Ekstraksi Parameter Penutup Lahan.....                  | 55 |
| Skrip 3.16 Validasi Biner dan <i>Filtering Hotspot</i> FIRMS ..... | 56 |
| Skrip 3.17 Validasi Multikelas Tingkat Keparahan Kebakaran.....    | 57 |

## DAFTAR RUMUS

|  |    |
|--|----|
| Rumus 3.1 <i>Normalized Burn Ratio</i> (NBR) .....                             | 47 |
| Rumus 3.2 <i>Differenced Normalized Burn Ratio</i> (dNBR) .....                | 48 |
| Rumus 3.3 <i>Relative differenced Normalized Burn Ratio</i> (RdNBR) .....      | 48 |
| Rumus 3.4 <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI) .....           | 49 |
| Rumus 3.5 <i>Perubahan Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI) ..... | 49 |
| Rumus 3.6 <i>Perhitungan Pengisian Kuisisioner</i> .....                       | 62 |