



SKRIPSI

KLASTERISASI KERAWANAN GEMPA BUMI DI INDONESIA MENGGUNAKAN ALGORITMA INVASIVE WEED OPTIMIZATION

MUHAMMAD MAULANA KHARYSKA ABADI

NPM 21082010143

DOSEN PEMBIMBING

Amalia Anjani Arifiyanti, S.Kom., M.Kom.

Dhian Satria Yudha Kartika, S.Kom., M.Kom.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI SISTEM INFORMASI
SURABAYA
2025**

LEMBAR PENGESAHAN

KLASTERISASI KERAWANAN GEMPA BUMI DI INDONESIA MENGGUNAKAN ALGORITMA INVASIVE WEED OPTIMIZATION

Oleh:

MUHAMMAD MAULANA KHARYSKA ABADI
NPM. 21082010143

Telah dipertahankan dihadapan dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi Prodi Sistem Informasi Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur Pada tanggal 13 Mei 2025.

Menyetujui

Amalia Anjani Arifivanti, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19920812 2018032 001

 (Pembimbing I)

Dhian Satria Yudha Kartika, S.Kom., M.Kom.
NPT. 201198 60 522249

 (Pembimbing II)

Nur Cahyo Wibowo, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19790317 2021211 002

 (Ketua Penguji)

Anindo Saka Fitri, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19930325 2024062 001

 (Anggota Penguji II)

Iqbal Ramadhani Mukhlis, S.Kom., M.Kom.
NIP. 19930305 2024061 002

 (Anggota Penguji III)

Mengetahui,
Dekan Fakultas Ilmu Komputer


Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT

NIP. 19681126 199403 2 001

LEMBAR PERSETUJUAN

**KLASTERISASI KERAWANAN GEMPA BUMI DI INDONESIA MENGGUNAKAN
ALGORITMA INVASIVE WEED OPTIMIZATION**

Oleh:

MUHAMMAD MAULANA KHARYSKA ABADI

NPM. 21082010143

Menyetujui,

**Koordinator Program Studi Sistem Informasi
Fakultas Ilmu Komputer**



Agung Brastama Putra, S.Kom, M.Kom.
NIP. 19851124 2021211 003

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama : Muhammad Maulana Kharyska Abadi
NPM : 21082010143
Program : Sarjana(S1)
Program Studi : Sistem Infomasi
Fakultas : Fakultas Ilmu Komputer

Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dalam dokumen ini dan disebutkan secara lengkap dalam daftar pustaka.

Dan saya menyatakan bahwa dokumen ilmiah ini bebas dari unsur-unsur plagiasi. Apabila dikemudian hari ditemuan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun juga dan untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



Surabaya, 13 Mei 2025

Yang Membuat pernyataan



Muhammad Maulana Kharyska Abadi

NPM. 21082010143

ABSTRAK

Nama Mahasiswa / NPM : Muhammad Maulana Kharyska Abadi / 21082010143
Judul Skripsi : Klasterisasi Kerawanan Gempa Bumi Di
Indonesia Menggunakan Algoritma Invasive
Weed Optimization
Dosen Pembimbing : 1. Amalia Anjani Arifiyanti, S.Kom., M.Kom.
2. Dhian Satria Yudha Kartika, S.Kom., M.Kom.

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di Indonesia akibat posisi geografis yang berada pada pertemuan tiga lempeng tektonik utama yang mengakibatkan Indonesia memiliki tingkat risiko gempa yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan klasterisasi daerah kerawanan gempa bumi di Indonesia menggunakan algoritma Invasive Weed Optimization (IWO), yang dipilih karena kemampuannya menghasilkan hasil klasterisasi yang lebih akurat dengan nilai *fitness* yang optimal dibanding algoritma lainnya. Penelitian menggunakan data gempa dari BMKG periode Januari 2014 hingga November 2024 dengan total 84.733 kejadian. Setelah melalui tahap *preprocessing*, diperoleh 81.454 data bersih yang kemudian dianalisis untuk pembuatan model. Penentuan jumlah klaster menggunakan metode Elbow menghasilkan K optimal yaitu 4. Melalui 70 iterasi dengan populasi awal 20 individu, IWO menghasilkan empat klaster kerawanan gempa: Kurang Rawan (46.132 data), Sangat Rawan (23.573 data), Cukup Rawan (1.413 data), dan Rawan (10.336 data). Hasil evaluasi menunjukkan IWO memiliki performa lebih baik dengan nilai *Sum Square Errors* 510,513, *Davies-Bouldin Index* 0.736, dan *Silhouette Score* 0.4927, dibandingkan K-Means yang nilai *Sum Square Errors* 512.710, *Davies-Bouldin Index* 0.734, *Silhouette Score* 0.4910 dan DBSCAN yang nilainya *Sum Square Errors* 1734.816, *Davies-Bouldin Index* 1.339, *Silhouette Score* 0.4161. IWO memberikan klasterisasi paling kompak dan terpisah dengan jelas. Visualisasi hasil dibuat dalam aplikasi berbasis website memudahkan pemahaman daerah rawan gempa untuk mendukung perencanaan mitigasi yang lebih efektif dan terarah.

Kata kunci : Gempa Bumi, Klasterisasi, Invasive Weed Optimization, Kerawanan Gempa, *Sum of Squared Errors*.

ABSTRACT

Student Name / NPM : Muhammad Maulana Kharyska Abadi / 21082010143
Thesis Title : Clustering of Earthquake Vulnerability in Indonesia
Using the Invasive Weed Optimization Algorithm
Advisor : 1. Amalia Anjani Arifiyanti, S.Kom., M.Kom.
2. Dhian Satria Yudha Kartika, S.Kom., M.Kom.

Earthquakes are one of the natural disasters that frequently occur in Indonesia due to its geographical position at the intersection of three major tectonic plates, resulting in a high level of earthquake risk for the country. This study aimed to cluster earthquake-vulnerability areas in Indonesia using the Invasive Weed Optimization (IWO) algorithm, which was selected for its ability to produce more accurate clustering with optimal fitness values compared to other algorithms. Earthquake data were obtained from BMKG for the period January 2014 to November 2024, comprising 84733 events. After preprocessing, 81454 clean records were used for model development. The optimal number of clusters was determined to be four using the Elbow method. Over 70 iterations with an initial population of 20 individuals, IWO generated four vulnerability clusters: Low Vulnerability (46132 records), Very High Vulnerability (23573 records), Moderate Vulnerability (1413 records), and High Vulnerability (10336 records). Evaluation results showed that IWO outperformed other methods with Sum Square Errors of 510.513, Davies-Bouldin Index of 0.736, and Silhouette Score of 0.4927, compared to K-Means with Sum Square Errors of 512.710, Davies-Bouldin Index of 0.734, and Silhouette Score of 0.4910 and DBSCAN with Sum Square Errors of 1734.816, Davies-Bouldin Index of 1.339, and Silhouette Score of 0.4161. IWO provided the most compact and clearly separated clustering. Results were visualized in a web-based application to facilitate understanding of earthquake-prone zones and support more effective and targeted mitigation planning.

Keywords: Earthquake, Clustering, Invasive Weed Optimization, Earthquake Vulnerability, *Sum of Squared Errors*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat, hidayah dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul **“Klasterisasi Kerawanan Gempa Bumi Di Indonesia Menggunakan Algoritma Invasive Weed Optimization”** dapat terselesaikan dengan baik.

Proses penyusunan skripsi ini merupakan perjalanan yang penuh dengan pembelajaran, tantangan, serta momen berharga. Keberhasilan dalam menyelesaikan penelitian ini tidak terlepas dari dukungan berbagai pihak serta penulis juga banyak menerima bantuan dari berbagai pihak, baik itu berupa moril, spiritual maupun materiil. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, atas segala cinta dan kasih sayang, dukungan, kepercayaan, serta doa yang tiada henti, sehingga menjadi semangat dalam menyelesaikan skripsi.
2. Almarhumah Nenek yang selalu dicintai. Penulis harap, di tempat terbaikmu kini, Semoga bangga melihat perjalanan ini. Al-fatihah.
3. Keluarga dan kerabat penulis, yang senantiasa memberikan doa, semangat, motivasi, dan moral tanpa henti selama proses penyusunan skripsi yang menjadi bagian penting dari perjalanan ini.
4. Ibu Amalia Anjani Arifiyanti, S.Kom., M.Kom. dan Bapak Dhian Satria Yudha Kartika, S.Kom., M.Kom. selaku Dosen Pembimbing utama yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan, nasehat serta motivasi kepada penulis.
5. Bapak Agung Brastama Putra, S.Kom, M.Kom selaku Ketua Program Studi Sistem Informasi Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
6. Dosen-dosen Program Studi Sistem Informasi Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur yang telah memberikan banyak ilmu pengetahuan yang bermanfaat selama masa perkuliahan berlangsung.
7. Sahabat-sahabat penulis di berbagai jenjang pendidikan, mulai dari SD, SMP, SMA, hingga perkuliahan yang selalu memberikan dukungan, semangat, dan kebersamaan. Terima kasih atas motivasi dan bantuan yang

berarti dalam perjalanan menyelesaikan skripsi.

8. Seluruh teman-teman Program Studi Sistem Informasi angkatan 2021, terutama kelas D yang telah bersama-sama menjalani perjuangan sejak awal hingga akhirnya mencapai tahap ini.
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, tetapi telah memberikan bantuan dan dukungan dalam penyelesaian skripsi ini.
10. Terima kasih juga kepada diri sendiri atas perjuangan, ketekunan, dan keteguhan dalam menghadapi berbagai tantangan hingga akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan.

Penulis menyadari bahwa di dalam penyusunan skripsi ini banyak terdapat kekurangan. Untuk itu kritik dan saran yang membangun dari semua pihak sangat diharapkan demi kesempurnaan penulisan skripsi ini. Akhirnya, dengan segala keterbatasan yang penulis miliki semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi semua pihak umumnya dan penulis pada khususnya.

Surabaya, 13 Mei 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL SKRIPSI.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	v
SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	vii
ABSTRAK	ix
ABSTRACT	xi
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Tujuan Penelitian	6
1.5. Manfaat Penelitian	7
1.6. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Dasar Teori.....	9
2.1.1. Gempa Bumi	9
2.1.2. <i>Data Mining</i>	10
2.1.3. <i>Clustering</i>	12
2.1.4. Invasive Weed Optimization.....	13
2.1.5. Evaluasi Model.....	17
2.1.5.1. <i>Sum of Squares Errors (SSE)</i>	17
2.1.5.2. <i>Davies-Bouldin Index (DBI)</i>	18

2.1.5.3. <i>Silhouette Score</i>	19
2.1.6. Flask	19
2.2. Penelitian Terdahulu	20
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1. Alur Penelitian	24
3.2. Identifikasi Masalah	25
3.3. Studi Literatur	25
3.4. Analisis Kebutuhan	26
3.4.1. Kebutuhan Data.....	26
3.4.2. Kebutuhan <i>Hardware</i> dan <i>Software</i>	26
3.5. Pengumpulan Data	26
3.6. <i>Preprocessing Data</i>	28
3.6.1. <i>Data Cleaning</i>	29
3.6.2. Pemilihan Atribut	29
3.6.3. Normalisasi Data	29
3.6.4. Transformasi Data	31
3.7. Pembuatan Model.....	31
3.8. Evaluasi	32
3.9. <i>Deployment</i>	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Pengumpulan Data	37
4.2. <i>Preprocessing Data</i>	38
4.2.1. <i>Data Cleaning</i>	40
4.2.2. Pemilihan Atribut	42
4.2.3. Normalisasi Data	43
4.2.4. Transformasi Data	44
4.3. Pembuatan Model.....	45
4.3.1. Menentukan Nilai K yang Optimal	46

4.3.2. Klasterisasi menggunakan Algoritma IWO	48
4.3.3. Klasterisasi menggunakan Algoritma K-Means dan DBSCAN	62
4.4. Evaluasi	76
4.4.1. Evaluasi Klasterisasi Algoritma IWO	76
4.4.2. Evaluasi Klasterisasi K-Means dan DBSCAN	78
4.5. <i>Deployment</i>	82
4.5.1. Persiapan	82
4.5.1.1. Konfigurasi <i>Backend</i> Flask	82
4.5.1.2. Skema dan Model <i>Database</i>	83
4.5.2. Halaman Utama.....	87
4.5.3. Fitur Gempa Bumi Real-time.....	89
4.5.4. Fitur Data Historis.....	95
4.5.5. Fitur Klasterisasi Kerawanan Gempa.....	102
4.5.6. Fitur Simulasi	109
BAB V PENUTUP	116
5.1. Kesimpulan	116
5.2. Saran.....	117
DAFTAR PUSTAKA	119

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kategori Data Mining	12
Gambar 2.2. Alur Algoritma IWO	17
Gambar 3.1. Alur Penelitian.....	24
Gambar 3.2. Alur Proses Preprocessing.....	28
Gambar 3.3. Wireframe Fitur Gempa Bumi Real-time.....	33
Gambar 3.4. Wireframe Fitur Data Historis.....	34
Gambar 3.5. Wireframe Fitur Klasterisasi	35
Gambar 3.6. Wireframe Fitur Simulasi.....	36
Gambar 4.1. Kode Tahap Import Library	38
Gambar 4.2. Kode Tahap Data Cleaning	40
Gambar 4.3. Hasil Tahap Data Cleaning	41
Gambar 4.4. Kode Tahap Pemilihan Atribut	42
Gambar 4.5. Hasil Tahap Pemilihan Atribut.....	42
Gambar 4.6. Kode Tahap Normalisasi Data	43
Gambar 4.7. Hasil Tahap Normalisasi Data.....	43
Gambar 4.8. Kode Tahap Transformasi Data	44
Gambar 4.9. Hasil Tahap Transformasi Data.....	45
Gambar 4.10. Kode Tahap Penentuan K Optimal	46
Gambar 4.11. Metode Elbow Untuk Penentuan K Optimal.....	47
Gambar 4.12. Hasil Tahap Penentuan Klaster Optimal	48
Gambar 4.13. Kode Euclidean Distance Dan Sum Of Squared Errors	49
Gambar 4.14. Kode Algoritma Invasive Weed Optimization Bagian 1	49
Gambar 4.15. Kode Algoritma Invasive Weed Optimization Bagian 2	50
Gambar 4.16. Kode Algoritma Invasive Weed Optimization Bagian 3	50
Gambar 4.17. Kode Menentukan Centroid Acak Pada Algoritma IWO.....	51
Gambar 4.18. Kode Penugasan Data Ke Centroid Berdasarkan Jarak Euclidean Algoritma IWO	51

Gambar 4.19. Kode Standar Deviasi Pada Algoritma IWO.....	52
Gambar 4.20. Kode Penentuan Jumlah Anak Berdasarkan Fitness Pada Algoritma IWO.....	52
Gambar 4.21. Kode Pembuatan Benih Dengan Noise Gaussian Pada Centroid Induk Pada Algoritma IWO	52
Gambar 4.22. Kode Pembatasan Populasi Hingga Ukuran Maksimum Pada Algoritma IWO	53
Gambar 4.23. Kode Penyimpanan Dan Pembaruan Solusi Terbaik Pada Algoritma IWO.....	53
Gambar 4.24. Kode Pengeksekusian Algoritma IWO	54
Gambar 4.25. Hasil Iterasi Pertama Algoritma Invasive Weed Optimization	54
Gambar 4.26. Hasil Iterasi Terakhir Algoritma Invasive Weed Optimization	55
Gambar 4.27. Kode Statistik Klaster Pada Algoritma IWO	56
Gambar 4.28. Hasil Statistik Klaster Pada Algoritma IWO	56
Gambar 4.29. Kode Assign Hasil Klaster Pada Algoritma IWO.....	56
Gambar 4.30. Hasil Assign Hasil Klaster Pada Algoritma IWO	57
Gambar 4.31. Kode Menghitung Centroid Pada Algoritma IWO	57
Gambar 4.32. Hasil Centroid Tiap Klaster Pada Algoritma IWO	58
Gambar 4.33. Kode Statistik Detail Klaster Pada Algoritma IWO.....	58
Gambar 4.34. Hasil Statistik Detail Klaster Pada Algoritma IWO.....	58
Gambar 4.35. Kode Visualisasi Pada Algoritma IWO	59
Gambar 4.36. Hasil Visualisasi Pada Algoritma Invasive Weed Optimization.....	60
Gambar 4.37. Kode Algoritma K-Means.....	63
Gambar 4.38. Kode Statistik Klaster Algoritma K-Means	64
Gambar 4.39. Hasil Statistik Klaster Algoritma K-Means	65
Gambar 4.40. Kode Statistik Detail Klaster Algoritma K-Means	65
Gambar 4.41. Hasil Detail Statistik Klaster Algoritma K-Means.....	66
Gambar 4.42. Kode Visualisasi Algoritma K-Means	67
Gambar 4.43. Hasil Visualisasi Pada Algoritma K-Means.....	68

Gambar 4.44. Potongan Kode Algoritma DBSCAN	69
Gambar 4.45. Potongan Kode Algoritma DBSCAN Bagian 2	70
Gambar 4.46. Kode Penetapan Klaster Dengan Chunking Pada Algoritma DBSCAN	71
Gambar 4.47. Hasil Pemrosesan Pada Algoritma DBSCAN	72
Gambar 4.48. Kode Assign Dan Statistik Klaster Pada Algoritma DBSCAN	72
Gambar 4.49. Hasil Detail Statistik Klaster Pada Algoritma DBSCAN	73
Gambar 4.50. Kode Visualisasi Pada Algoritma DBSCAN	74
Gambar 4.51. Kode Visualisasi Pada Algoritma DBSCAN Bagian 2	75
Gambar 4.52. Hasil Visualisasi Pada Algoritma DBSCAN	76
Gambar 4.53. Kode Davies-Bouldin Index Untuk Evaluasi	76
Gambar 4.54. Kode Evaluasi Pada Algoritma IWO Menggunakan Metrik SSE, DBI, dan Silhouette Score	77
Gambar 4.55. Hasil Evaluasi Pada Algoritma IWO Menggunakan Metrik SSE, DBI, dan Silhouette Score	77
Gambar 4.56. Kode Evaluasi Pada Algoritma K-Means Menggunakan Metrik SSE, DBI, dan Silhouette Score	78
Gambar 4.57. Hasil Evaluasi Pada Algoritma K-Means Menggunakan Metrik SSE, DBI, dan Silhouette Score	78
Gambar 4.58. Kode Evaluasi Metrik SSE Pada Algoritma DBSCAN	79
Gambar 4.59. Kode Evaluasi Metrik DBI Dan Silhouette Score Pada Algoritma DBSCAN	80
Gambar 4.60. Hasil Evaluasi Pada Algoritma DBSCAN Menggunakan Metrik SSE, DBI, dan Silhouette Score	81
Gambar 4.61. Kode Import Library	83
Gambar 4.62. Kode Konfigurasi Database MySQL	83
Gambar 4.63. Kode Model Database Tabel Earthquake	84
Gambar 4.64. Kode Model Database Tabel EarthquakePreprocessed dan EarthquakeCleaned	85

Gambar 4.65. Tampilan Halaman Utama Website	87
Gambar 4.66. Kode Route Flask Halaman Utama Website.....	88
Gambar 4.67. Kode Halaman Utama Website (HTML).....	88
Gambar 4.68. Kode Route Flask Fitur Gempa Bumi Real-Time.....	89
Gambar 4.69. Kode Endpoint API Fitur Gempa Bumi Real-Time.....	89
Gambar 4.70. Potongan Kode Halaman Fitur Gempa Bumi Real-Time (HTML) 90	
Gambar 4.71. Potongan Kode JavaScript untuk Inisialisasi dan Visualisasi Peta Gempa Bumi	91
Gambar 4.72. Potongan Kode JavaScript untuk Mengambil dan Menampilkan Data Gempa Bumi.....	92
Gambar 4.73. Tampilan Halaman Gempa Bumi Real-Time Bagian Gempa Bumi Terkini	93
Gambar 4.74. Tampilan Halaman Gempa Bumi Real-Time Bagian Gempa Bumi Magnitude Lebih dari Lima	94
Gambar 4.75. Tampilan Halaman Gempa Bumi Real-Time Bagian Gempa Bumi Dirasakan.....	95
Gambar 4.76. Kode Route Flask Fitur Data Historis	96
Gambar 4.77. Kode Endpoint API Fitur Data Gempa Bumi Historis.....	97
Gambar 4.78. Kode Endpoint Ekspor Data Gempa Bumi Format CSV	98
Gambar 4.79. Potongan Kode Halaman Fitur Data Historis (HTML).....	99
Gambar 4.80. Potongan Kode JavaScript untuk Fitur Filter dan Unduh Data CSV	100
Gambar 4.81. Potongan Kode JavaScript untuk Menampilkan Detail Gempa Bumi	101
Gambar 4.82. Tampilan Halaman Data Historis	102
Gambar 4.83. Kode Route Flask Fitur Klasterisasi Kerawanan Gempa.....	103
Gambar 4.84. Kode Endpoint API Visualisasi Data Gempa Terklasterisasi Berdasarkan JSON dan Database	103
Gambar 4.85. Potongan Kode Halaman Fitur Klasterisasi Kerawanan Gempa	

(HTML).....	104
Gambar 4.86. Potongan Kode JavaScript untuk Inisialisasi Peta Klaster dan Heatmap Data Gempa Bumi	105
Gambar 4.87. Potongan Kode JavaScript untuk Visualisasi Klaster dan Heatmap Data Gempa.....	106
Gambar 4.88. Potongan Kode JavaScript untuk Visualisasi Metrik Evaluasi Klasterisasi dalam Tabel	107
Gambar 4.89. Potongan Kode JavaScript untuk Menampilkan Heatmap Area Berdasarkan Jumlah Gempa dan Dominasi Klaster	107
Gambar 4.90. Tampilan Halaman Klasterisasi Kerawanan Gempa Bumi.....	108
Gambar 4.91. Kode Route Flask Fitur Simulasi	109
Gambar 4.92. Kode Endpoint API Data Model Klasterisasi untuk Simulasi	109
Gambar 4.93. Kode Endpoint API Klaster Risiko Gempa Menggunakan Data Input dan Model JSON	110
Gambar 4.94. Potongan Kode Halaman Fitur Simulasi (HTML).....	110
Gambar 4.95. Kode JavaScript untuk Memuat Data Model Klasterisasi Gempa	111
Gambar 4.96. Kode JavaScript untuk Simulasi Klasterisasi Gempa Melalui Peta dan Formulir.....	112
Gambar 4.97. Potongan Kode JavaScript untuk Klasifikasi Gempa ke Dalam Klaster	113
Gambar 4.98. Tampilan Halaman Simulasi	114
Gambar 4.99. Tampilan Halaman Simulasi	114

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Parameter IWO	14
Tabel 2.2. Penelitian Terdahulu	20
Tabel 3.1. Atribut Data Gempa Bumi Januari 2014 - November 2024	27
Tabel 3.2. Atribut 2 Data Gempa Bumi Januari 2014 - November 2024	28
Tabel 3.3. Nilai Parameter Normalisasi	30
Tabel 4.1. Atribut Data Gempa Bumi	37
Tabel 4.2. Nilai Parameter IWO	51
Tabel 4.3. Statistik Hasil Klaster Kerawanan Gempa Bumi di Indonesia	61
Tabel 4.4. Perbandingan Metrik Evaluasi Tiap Algoritma	81