



SKRIPSI

**PREDIKSI *B-VALUE* GEMPA BUMI DI
WILAYAH PULAU JAWA MENGGUNAKAN
PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO) DAN
*DEEP LEARNING***

KESYA NURSYAHADA
NPM 21081010120

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Basuki Rahmat, S.Si., MT.
Afina Lina Nurlaili, S.Kom., M.Kom.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI INFORMATIKA
SURABAYA
2025**



SKRIPSI

PREDIKSI *B-VALUE* GEMPA BUMI DI WILAYAH PULAU JAWA MENGGUNAKAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (PSO)* DAN *DEEP LEARNING*

KESYA NURSYAHADA
NPM 21081010120

DOSEN PEMBIMBING
Dr. Basuki Rahmat, S.Si., MT.
Afina Lina Nurlaili, S.Kom., M.Kom.

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS PEMBANGUNAN NASIONAL VETERAN JAWA TIMUR
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
PROGRAM STUDI INFORMATIKA
SURABAYA
2025**

Halaman ini sengaja dikosongkan

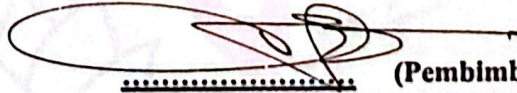
LEMBAR PENGESAHAN

PREDIKSI *B-VALUE* GEMPA BUMI DI WILAYAH PULAU JAWA MENGUNAKAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) DAN *DEEP LEARNING*

Oleh :
KESYA NURSYAHADA
NPM. 21081010120

Telah dipertahankan dihadapan dan diterima oleh Tim Penguji Skripsi Prodi Informatika
Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur Pada
tanggal 23 Mei 2025

Dr. Basuki Rahmat, S.Si. MT.
NIP. 19690723 202121 1 002


..... (Pembimbing I)

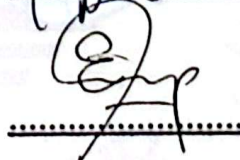
Afina Lina Nurlaili, S.Kom., M.Kom
NIP. 1993121 3202203 2010


..... (Pembimbing II)

Chrystia Aji Putra, S.Kom, M.T
NIP. 19861008 202121 1 001


..... (Ketua Penguji)

Eka Prakarsa Mandyartha, ST, M.Kom
NIP. 19880525 201803 1 001


..... (Anggota Penguji)

Mengetahui,
Dekan Fakultas Ilmu Komputer


Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT
NIP. 19681126 199403 2 001

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PERSETUJUAN

PREDIKSI *B-VALUE* GEMPA BUMI DI WILAYAH PULAU JAWA MENGUNAKAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (PSO) DAN *DEEP LEARNING*

Oleh :
KESYA NURSYAHADA
NPM. 21081010120

Menyetujui,
Koordinator Program Studi Informatika
Fakultas Ilmu Komputer



Fetty Tri Anggraeny, S.Kom. M.Kom
NIP. 19820211 202121 2 005

Halaman ini sengaja dikosongkan

SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : Kesya Nursyahada
NPM : 21081010120
Program : Sarjana (S1)
Program Studi : Informatika
Fakultas : Ilmu Komputer

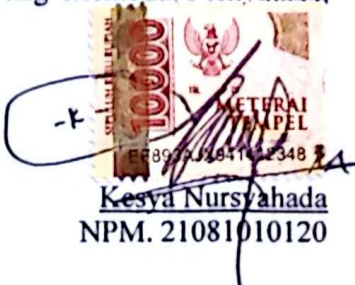
Menyatakan bahwa dalam dokumen ilmiah Skripsi ini tidak terdapat bagian dari karya ilmiah lain yang telah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di suatu lembaga Pendidikan Tinggi, dan juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang/lembaga lain, kecuali yang 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. Apabil adikemudian hari ditemukan indikasi plagiat pada Skripsi ini, saya bersedia menerimasanksi 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, 23 Mei 2025
Yang Membuat Pernyataan,


Kesya Nursyahada
NPM. 21081010120

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

Nama Mahasiswa / NPM : Kesya Nursyahada / 21081010120
Judul Skripsi : Prediksi *B-value* Gempa Bumi di Wilayah Pulau Jawa Menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Deep Learning*
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Basuki Rahmat, S.Si. MT.
2. Afina Lina Nurlaili, S.Kom., M.Kom.

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi nilai *b-value* gempa bumi di wilayah Pulau Jawa menggunakan algoritma *Gated Recurrent Unit* (GRU) yang dioptimasi dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO). *b-value* merupakan parameter penting dalam analisis seismik yang mencerminkan hubungan antara frekuensi dan magnitudo gempa, sehingga berguna untuk mitigasi bencana. Data gempa diperoleh dari BMKG untuk periode 1962–2024. Model GRU dipilih karena kemampuannya dalam mengolah data deret waktu, sementara PSO digunakan untuk mencari kombinasi *hyperparameter* terbaik, seperti jumlah unit, *learning rate*, dan *dropout rate*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa PSO meningkatkan performa model secara signifikan dengan nilai MSE menurun dari 0.00435425 menjadi 0.00029910, RMSE dari 0.05092096 menjadi 0.01729450, dan MAPE dari 3.42% menjadi 1.12%. Waktu pelatihan juga menjadi lebih efisien, dari 57 detik menjadi 33 detik. Konfigurasi terbaik diperoleh pada bobot inersia 0.8, koefisien kognitif dan sosial $C_1 = 1$ dan $C_2 = 1$, jumlah partikel 40, dan iterasi sebanyak 10. Penelitian ini menunjukkan bahwa optimasi PSO dapat meningkatkan akurasi dan efisiensi prediksi *b-value* secara signifikan untuk mendukung mitigasi risiko gempa bumi di Pulau Jawa.

Kata kunci : *b-value*, gempa bumi, *deep learning*, GRU, *Particle Swarm Optimization*, prediksi, mitigasi bencana.

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Student Name / NPM : Kesya Nursyahada / 21081010120
Thesis Title : Prediction of Earthquake B-value in the Java Island
Region Using Particle Swarm Optimization (PSO)
and Deep Learning
Advisor : 1. Dr. Basuki Rahmat, S.Si. MT.
2. Afina Lina Nurlaili, S.Kom., M.Kom.

This study aims to develop a predictive model for earthquake b-value in the Java Island region using the Gated Recurrent Unit (GRU) algorithm optimized with Particle Swarm Optimization (PSO). The b-value is a crucial parameter in seismic analysis that reflects the relationship between earthquake frequency and magnitude, playing a vital role in disaster mitigation. Earthquake data were obtained from the Indonesian Meteorological, Climatological, and Geophysical Agency (BMKG) for the period 1962–2024. GRU was selected for its ability to process time series data, while PSO was employed to find the best hyperparameter combination, including the number of units, learning rate, and dropout rate. The results show that PSO significantly improved model performance, with MSE decreasing from 0.00435425 to 0.00029910, RMSE from 0.05092096 to 0.01729450, and MAPE from 3.42% to 1.12%. Training time was also reduced from 57 seconds to 33 seconds. The best configuration was achieved with an inertia weight of 0.8, cognitive and social coefficients $C_1 = 1$ dan $C_2 = 1$, 40 particles, and 10 iterations. This research demonstrates that PSO optimization significantly enhances the accuracy and efficiency of b-value prediction models to support earthquake disaster risk mitigation in Java.

Keywords: b-value, earthquakes, deep learning, GRU, Particle Swarm Optimization, prediction, disaster mitigation.

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat rahmat dan karunia-Nya kepada penulis sehingga skripsi dengan judul **“Prediksi *B-Value* Gempa Bumi Di Wilayah Pulau Jawa Menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO) Dan *Deep Learning*”** dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Penyusunan skripsi ini merupakan rangkaian dalam perjalanan akademik penulis guna menamatkan gelar sarjana pada Program Studi Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

Selama proses penyusunan skripsi, penulis banyak mendapatkan bantuan serta dukungan dari berbagai pihak, baik berupa pengajaran, bimbingan, dan arahan serta dukungan berbentuk moril, spiritual maupun materiil. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan materiil serta spiritual tiada henti selama penyusunan skripsi.
2. Ibu Prof. Dr. Ir. Novirina Hendrasarie, MT. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
3. Ibu Fetty Tri Anggraeny, S.Kom. M.Kom selaku Koordinator Program Studi Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.
4. Bapak Dr. Basuki Rahmat, S.Si. MT. dan Ibu Afina Lina Nurlaili, S.Kom., M.Kom selaku dosen pembimbing pertama dan kedua yang selalu memberikan dukungan, serta solusi dari permasalahan yang penulis hadapi selama proses pengerjaan skripsi.
5. Bapak Fitri Afriadi, M.Si., selaku pembimbing dibidangnya dari Balai Besar Meteorologi dan Geofisika Wilayah II Ciputat, Tangerang Selatan, atas bimbingan, bantuan, dan ilmu berharganya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan baik.
6. Seluruh dosen, karyawan, dan staff Program Studi Informatika Fakultas Ilmu Komputer Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur.

7. Anya Ningrum Nur'afifah selaku sahabat seperjuangan penulis yang selalu hadir memberikan semangat, dukungan moral, dan motivasi tanpa henti di setiap langkah perjalanan akademik ini. Kehadiran dan kebersamaannya telah menjadi sumber kekuatan yang membuat penulis mampu melewati segala tantangan dan kesulitan selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas persahabatan yang tulus dan kenangan indah yang akan selalu dikenang sepanjang masa.
8. Kepada teman-teman ytta yang telah rela menghabiskan waktu bersama dari pagi hingga pagi, berjuang bersama mengerjakan skripsi dengan penuh semangat dan kebersamaan. Terima kasih atas segala dukungan, tawa, serta solidaritas yang membuat perjalanan ini menjadi lebih ringan dan bermakna.
9. Teman-teman Informatika angkatan 2021 yang telah bersama-sama berjuang dan saling mendukung dalam menempuh studi hingga mencapai gelar sarjana.
10. Semua pihak yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan dukungan serta bantuan selama proses penyelesaian skripsi ini.

Dengan ditulisnya skripsi ini, penulis berharap para pembaca bisa mendapatkan pengetahuan serta pembelajaran yang bermanfaat. Penulis juga menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengharapkan adanya kritik dan saran yang membangun dari pembaca untuk menyempurnakan laporan ini

Surabaya, 23 Mei 2025



Kesya Nursyahada

NPM. 21081010120

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	v
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT	vii
ABSTRAK.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Manfaat Penelitian.....	4
1.5. Batasan Masalah.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Penelitian Terdahulu	7
2.2. Gempa Bumi	11
2.3. Jenis Gempa Bumi	14
2.4. Hubungan Frekuensi-Magnitudo Gempa Bumi	15
2.5. <i>B-value</i>	16
2.5.1. <i>Magnitude Completeness (MC)</i>	18
2.6. <i>Nilai A-value</i>	19
2.7. Peramalan (<i>Forecasting</i>)	20
2.7.1. Metode Peramalan.....	20
2.8. Data Runtun Waktu (<i>Time Series</i>).....	21
2.9. Kecerdasan Buatan	24
2.10. <i>Machine Learning (ML)</i>	25
2.11. <i>Deep Learning</i>	26
2.12. <i>Recurrent Neural Network (RNN)</i>	27
2.13. <i>Gated Recurrent Unit (GRU)</i>	27

2.14. <i>Hyperparameter GRU</i>	31
2.15. <i>Fungsi Aktivasi</i>	32
2.16. <i>Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	35
2.16.1. <i>Parameter Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	35
2.16.2. <i>Tahapan Particle Swarm Optimization (PSO)</i>	37
2.17. <i>Feature Engineering</i>	39
2.17.1. <i>Lag Feature</i>	40
2.17.2. <i>Differencing (Diff Feature)</i>	40
2.17.3. <i>Cyclical Encoding</i>	41
2.14.4. <i>Year Trend Feature</i>	41
2.18. <i>Matrix Evaluasi</i>	42
2.18.1. <i>Mean Square Error (MSE)</i>	42
2.18.2. <i>Root Mean Square Error (RMSE)</i>	43
2.18.3 <i>Mean Absolute Percentage Error (MAPE)</i>	43
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	46
3.1. <i>Tahapan Penelitian</i>	46
3.2. <i>Studi Literatur</i>	47
3.3. <i>Pengumpulan Data</i>	47
3.4. <i>Pengolahan Data</i>	48
3.4.1. <i>Perhitungan B-value</i>	49
3.4.2. <i>Data Cleaning (b-value)</i>	50
3.4.3. <i>Feature Engineering</i>	50
3.4.4. <i>Data Cleaning (Feature Engineering)</i>	52
3.4.5. <i>Pendefinisian Fitur dan Target</i>	52
3.4.6. <i>Normalisasi</i>	52
3.5. <i>Struktur Data</i>	53
3.6. <i>Perancangan Model</i>	55
3.6.1. <i>Perancangan Arsitektur Deep Learning (GRU)</i>	57
3.6.2. <i>Optimalisasi Hyperparameter menggunakan PSO</i>	61
3.6.3. <i>Data Denormalization</i>	65
3.6.4. <i>Evaluasi Model</i>	66
3.7. <i>Skenario Pengujian</i>	68

3.7.1. Skenario Pengujian Manual.....	68
3.7.2. Pengujian <i>Hyperparameter Deep Learning</i> dengan PSO	69
BAB IV METODOLOGI PENELITIAN.....	74
4.1. Pengumpulan <i>Dataset</i>	74
4.2. Pengolahan Data.....	75
4.2.1. Perhitungan <i>B-value</i>	75
4.2.2. <i>Data Cleaning (b-value)</i>	78
4.2.3. <i>Feature Engineering</i>	79
4.2.4. <i>Data Cleaning (Feature Engineering)</i>	80
4.2.5. Pendefinisian Fitur dan Target	81
4.2.6. Normalisasi.....	81
4.3. Struktur Data	82
4.4. Perancangan Model	84
4.4.1. Perancangan Arsitektur <i>Deep Learning</i> (GRU)	84
4.4.2. Optimalisasi <i>Hyperparameter</i> menggunakan PSO	88
4.4.3. <i>Denormalisasi</i>	94
4.5. Skenario Pengujian.....	95
4.5.1. Skenario Pengujian Manual	95
4.5.2. Skenario Pengujian Pencarian Parameter PSO	116
4.6. Skenario Optimasi <i>Genetic Algorithm</i>	193
4.7. Konfigurasi terbaik.....	198
4.8. Evaluasi Model.....	199
4.8.1. Grafik <i>Learning Curve</i>	200
4.8.2. Matriks Evaluasi.....	202
4.8.3. Grafik Aktual Prediksi.....	204
BAB V PENUTUP.....	208
5.2. Kesimpulan.....	208
5.3. Saran.....	210
DAFTAR PUSTAKA	212
LAMPIRAN.....	217

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gerakan divergen	11
Gambar 2. 2 Gerakan konvergen.....	12
Gambar 2. 3 Gerakan transform	13
Gambar 2. 4 Distribusi magnitudo kegempaan wilayah Jawa berdasarkan data BMKG dengan renang waktu 1962-2024	19
Gambar 2. 5 Bentuk umum pola acak	22
Gambar 2. 6 Bentuk umum pola musiman.....	23
Gambar 2. 7 Bentuk umum pola siklus	23
Gambar 2.8 Bentuk umum pola <i>trend</i>	24
Gambar 2. 9 Arsitektur <i>Deep Learning</i> [22], [23]	26
Gambar 2. 10 Alur kerja <i>recurrent neural network</i> [26].....	27
Gambar 2. 11 Arsitektur GRU [26].....	28
Gambar 2. 12 Fungsi aktivasi <i>sigmoid</i>	33
Gambar 2. 13 Fungsi aktivasi <i>tanh</i>	33
Gambar 2. 14 Fungsi aktivasi <i>ReLU</i>	34
Gambar 2. 15 Tahapan <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO)	37
Gambar 3. 1 Tahapan Penelitian	46
Gambar 3. 2 <i>Dataset</i> kejadian gempa wilayah Pulau Jawa.....	48
Gambar 3. 3 Alur pengolahan data.....	48
Gambar 3. 4 Struktur model data pada <i>base model</i>	54
Gambar 3. 5 Perancangan Model	56
Gambar 3. 6 Alur pengembangan model <i>Deep Learning</i> (GRU)	57
Gambar 3. 7 Alur penentuan parameter PSO	63
Gambar 4. 1 <i>Dataset</i> gempa BMKG.....	74
Gambar 4. 2 Hasil perhitungan M_c	76
Gambar 4. 3 Hasil proses perhitungan b -value	78
Gambar 4. 4 Hasil <i>Feature Engineering</i>	80
Gambar 4. 5 Hasil <i>Data Cleaning Feature Engineering</i>	81
Gambar 4. 6 Pembagian <i>dataset</i>	84

Gambar 4. 7 <i>Summary Model</i>	85
Gambar 4. 8 <i>Summary pelatihan model</i>	86
Gambar 4. 9 <i>Learning curve</i>	87
Gambar 4. 10 Hasil PSO	94
Gambar 4. 11 Pembagian <i>dataset</i> 70 : 20 : 10	96
Gambar 4. 12 <i>Learning curve</i> 70 : 20 : 10	97
Gambar 4. 13 Evaluasi 70 : 20 : 10	98
Gambar 4. 14 Grafik prediksi vs aktual 70 : 20 : 10	99
Gambar 4. 15 Pembagian <i>dataset</i> 80 : 10 : 10	100
Gambar 4. 16 <i>Learning Curve</i> 80 : 10 : 10	100
Gambar 4. 17 Evaluasi 80 : 10 : 10	101
Gambar 4. 18 Grafik prediksi vs aktual 80 : 10 : 10	102
Gambar 4. 19 Pembagian <i>dataset</i> 90 : 5 : 5	103
Gambar 4. 20 <i>Learning Curve</i> 90 : 5 : 5	103
Gambar 4. 21 Evaluasi 90 : 5 : 5	104
Gambar 4. 22 Grafik prediksi vs aktual 90 : 5 : 5	105
Gambar 4. 23 <i>Learning curve 2 layer</i>	107
Gambar 4. 24 Evaluasi 2 <i>layer</i>	108
Gambar 4. 25 Aktual vs prediksi 2 <i>layer</i>	109
Gambar 4. 26 <i>Learning curve 3 layer</i>	110
Gambar 4. 27 Evaluasi 3 <i>layer</i>	111
Gambar 4. 28 Aktual vs prediksi 3 <i>layer</i>	111
Gambar 4. 29 <i>Learning curve 4 layer</i>	112
Gambar 4. 30 Evaluasi 4 <i>layer</i>	113
Gambar 4. 31 Aktual vs prediksi 4 <i>layer</i>	114
Gambar 4. 32 Solusi didapat dari bobot inersia (w) 0.7.....	116
Gambar 4. 33 <i>Learning curve</i> GRU + PSO bobot inersia (w) 0.7	117
Gambar 4. 34 Evaluasi GRU + PSO bobot inersia (w) 0.7	118
Gambar 4. 35 Aktual vs prediksi model GRU + PSO bobot inersia (w) 0.7	119
Gambar 4. 36 Solusi didapat dari bobot inersia (w) 0.8.....	120
Gambar 4. 37 <i>Learning curve</i> GRU + PSO bobot inersia (w) 0.8	121
Gambar 4. 38 Evaluasi GRU + PSO bobot inersia (w) 0.8.....	122

Gambar 4. 39 Aktual vs prediksi model GRU + PSO bobot inersia (w) 0.8	123
Gambar 4. 40 Solusi didapat dari bobot inersia (w) 0.9.....	124
Gambar 4. 41 <i>Learning curve</i> GRU + PSO bobot inersia (w) 0.9	125
Gambar 4. 42 Evaluasi GRU + PSO bobot inersia (w) 0.9.....	126
Gambar 4. 43 Aktual vs prediksi model GRU + PSO bobot inersia (w) 0.9	127
Gambar 4. 44 Solusi didapat dari koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2 = 1$..	130
Gambar 4. 45 <i>Learning curve</i> GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2$ = 1.....	131
Gambar 4. 46 Evaluasi GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2 = 1$	132
Gambar 4. 47 Aktual vs prediksi model GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2 = 1$	133
Gambar 4. 48 Solusi didapat dari koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2 = 1.5$	134
Gambar 4. 49 <i>Learning curve</i> GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2$ = 1.5.....	135
Gambar 4. 50 Evaluasi GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2 = 1.5$	136
Gambar 4. 51 Aktual vs prediksi model GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2 = 1.5$	137
Gambar 4. 52 Solusi didapat dari koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2 = 2$..	138
Gambar 4. 53 <i>Learning curve</i> GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2$ = 2.....	139
Gambar 4. 54 Evaluasi GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2 = 2$	140
Gambar 4. 55 Aktual vs prediksi model GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1$ $C2 = 2$	141
Gambar 4. 56 Solusi didapat dari koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 1$	142
Gambar 4. 57 <i>Learning curve</i> GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 1$	143
Gambar 4. 58 Evaluasi GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 1$	144

Gambar 4. 59 Aktual vs prediksi model GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 1$	145
Gambar 4. 60 Solusi didapat dari koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 1.5$	146
Gambar 4. 61 <i>Learning curve</i> GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 1.5$	147
Gambar 4. 62 Evaluasi GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 1.5$	148
Gambar 4. 63 Aktual vs prediksi model GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 1.5$	149
Gambar 4. 64 Solusi didapat dari koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 2$	150
Gambar 4. 65 <i>Learning curve</i> GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 2$	151
Gambar 4. 66 Evaluasi GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 2$	152
Gambar 4. 67 Aktual vs prediksi model GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 1.5$ $C2 = 2$	153
Gambar 4. 68 Solusi didapat dari koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2 = 1$..	154
Gambar 4. 69 <i>Learning curve</i> GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2$ $= 1$	155
Gambar 4. 70 Evaluasi GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2 = 1$	156
Gambar 4. 71 Aktual vs prediksi model GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2 = 1$	157
Gambar 4. 72 Solusi didapat dari koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2 = 1.5$	158
Gambar 4. 73 <i>Learning curve</i> GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2$ $= 1.5$	159
Gambar 4. 74 Evaluasi GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2 = 1.5$	160
Gambar 4. 75 Aktual vs prediksi model GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2 = 1.5$	161

Gambar 4. 76 Solusi didapat dari koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2 = 2$..	162
Gambar 4. 77 <i>Learning curve</i> GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2 = 2$	163
Gambar 4. 78 Evaluasi GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2 = 2$	164
Gambar 4. 79 Aktual vs prediksi model GRU + PSO koefisien kognitif dan sosial $C1 = 2$ $C2 = 2$	165
Gambar 4. 80 Solusi didapat dari 20 partikel.....	168
Gambar 4. 81 <i>Learning curve</i> GRU + PSO dengan 20 partikel.....	169
Gambar 4. 82 Evaluasi GRU + PSO dengan 20 partikel	170
Gambar 4. 83 Aktual vs prediksi model GRU + PSO dengan 20 partikel	171
Gambar 4. 84 Solusi didapat dari 30 partikel.....	172
Gambar 4. 85 <i>Learning Curve</i> GRU + PSO dengan 30 partikel.....	173
Gambar 4. 86 Evaluasi GRU + PSO dengan 30 partikel	174
Gambar 4. 87 Aktual vs prediksi model GRU + PSO dengan 30 partikel	175
Gambar 4. 88 Solusi didapat dengan 40 partikel	176
Gambar 4. 89 <i>Learning Curve</i> GRU + PSO dengan 40 partikel.....	177
Gambar 4. 90 Evaluasi GRU + PSO dengan 40 partikel	178
Gambar 4. 91 Aktual vs prediksi model GRU + PSO dengan 30 partikel	179
Gambar 4. 92 Solusi didapat dengan 10 iterasi.....	181
Gambar 4. 93 <i>Learning Curve</i> GRU + PSO dengan 10 iterasi	182
Gambar 4. 94 Evaluasi GRU + PSO dengan 10 iterasi.....	183
Gambar 4. 95 Aktual vs prediksi model GRU + PSO dengan 10 iterasi	184
Gambar 4. 96 Solusi didapat dari 15 iterasi	185
Gambar 4. 97 <i>Learning Curve</i> GRU + PSO dengan 15 iterasi	186
Gambar 4. 98 Evaluasi GRU + PSO dengan 15 iterasi.....	187
Gambar 4. 99 Aktual vs prediksi model GRU + PSO dengan 15 iterasi	187
Gambar 4. 100 Solusi didapat dari 20 iterasi	188
Gambar 4. 101 <i>Learning Curve</i> GRU + PSO dengan 20 iterasi	189
Gambar 4. 102 Evaluasi GRU + PSO dengan 20 iterasi.....	190
Gambar 4. 103 Aktual vs prediksi model GRU + PSO 15 iterasi. 40 partikel....	191
Gambar 4. 104 Kombinasi <i>hyperparameter</i> dari <i>Genetic Algorythm</i>	194

Gambar 4. 105 <i>Learning Curve</i> model dengan optimasi GA	195
Gambar 4. 106 Evaluasi GRU + GA	196
Gambar 4. 107 Aktual vs prediksi model GRU + GA	197
Gambar 4. 108 <i>Learning curve</i> sebelum optimasi	200
Gambar 4. 109 <i>Learning curve</i> setelah optimasi menggunakan PSO.....	200
Gambar 4. 110 <i>Learning curve</i> setelah optimasi menggunakan GA	201
Gambar 4. 111 Perbandingan grafik prediksi dan aktual pada sebelum optimasi	204
Gambar 4. 112 Perbandingan grafik prediksi dan aktual pada setelah optimasi PSO	205
Gambar 4. 113 Perbandingan grafik prediksi dan aktual pada setelah optimasi GA	205

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Studi Literatur	7
Tabel 3. 1 Contoh data magnitudo (M) Desember 1989.....	49
Tabel 3. 2 Sample <i>dataset</i> sebelum normalisasi	53
Tabel 3. 3 Sample <i>dataset</i> setelah normalisasi.....	53
Tabel 3. 4 Pembagian data	54
Tabel 3. 5 Data <i>Input</i>	58
Tabel 3. 6 Fungsi optimasi <i>hyperparameter</i>	62
Tabel 3. 7 Contoh <i>b-value</i> aktual dan prediksi.....	66
Tabel 3. 8 Skenario pengujian manual	69
Tabel 3. 9 Fungsi optimasi <i>hyperparameter</i>	70
Tabel 3. 10 Skenario Parameter PSO	71
Tabel 3. 11 Ruang pencarian <i>hyperparameter</i>	72
Tabel 4. 1 Hasil <i>Split Dataset</i>	105
Tabel 4. 2 Hasil <i>Hidden Layer</i> dan Unit GRU	115
Tabel 4. 3 Kombinasi arsitektur skenario bobot inersia (w)	128
Tabel 4. 4 Hasil pengujian PSO bobot inersia	128
Tabel 4. 5 Kombinasi arsitektur skenario koefisien kognitif $C1$ dan sosial $C2$..	166
Tabel 4. 6 Hasil pengujian PSO koefisien kognitif $C1$ dan sosial $C2$	166
Tabel 4. 7 Kombinasi arsitektur skenario partikel	179
Tabel 4. 8 Hasil pengujian partikel PSO	180
Tabel 4. 9 Kombinasi arsitektur skenario iteras	192
Tabel 4. 10 Hasil pengujian iterasi PSO	192
Tabel 4. 11 Parameter <i>Genetic Algorithm</i>	193
Tabel 4. 12 Konfigurasi parameter PSO	198
Tabel 4. 13 Konfigurasi Model Terbaik PSO	198
Tabel 4. 14 Konfigurasi parameter GA.....	199
Tabel 4. 15 Konfigurasi Model Terbaik GA	199
Tabel 4. 16 Matriks Evaluasi.....	202

Halaman ini sengaja dikosongkan