

OPTIMASI PERAMALAN KUALITAS UDARA KOTA BANDUNG DENGAN
METODE *FUZZY* MAMDANI DAN ALGORITMA GENETIKA-*FUZZY TIME*
SERIES

SKRIPSI

diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh Gelar
Sarjana Matematika



oleh:

Fidela Neysa Kaulika

NIM 2004342

PRODI MATEMATIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA
2024

LEMBAR HAK CIPTA

**OPTIMASI PERAMALAN KUALITAS UDARA KOTA BANDUNG
DENGAN METODE *FUZZY* MAMDANI DAN ALGORITMA GENETIKA-
*FUZZY TIME SERIES***

Oleh:

Fidela Neysa Kaulika

2004342

Diajukan untuk memenuhi sebagian syarat dalam memperoleh Gelar Sarjana
Matematika pada Program Studi Matematika, Fakultas Pendidikan Matematika
dan Ilmu Pengetahuan Alam

© Fidela Neysa Kaulika

Universitas Pendidikan Indonesia

Juli 2024

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian dengan dicetak
ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin penulis.

LEMBAR PENGESAHAN

FIDELA NEYSA KAULIKA

**OPTIMASI PERAMALAN KUALITAS UDARA KOTA BANDUNG DENGAN
METODE *FUZZY* MAMDANI DAN ALGORITMA GENETIKA-*FUZZY TIME*
*SERIES***

Disetujui dan disahkan oleh:

Pembimbing I,



Dr. Kartika Yulianti M.Si.

NIP. 198207282005012001

Pembimbing II,



Dr. Entit Puspita, M.Si.

NIP. 196704081994032002

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika,



Dr. Kartika Yulianti M.Si.

NIP. 198207282005012001

ABSTRAK

Kualitas udara merupakan elemen penting yang berdampak signifikan pada kesehatan dan kenyamanan hidup manusia serta kelestarian lingkungan. Kota Bandung, sebagai salah satu kota besar di Indonesia, mengalami peningkatan volume kendaraan bermotor dan jumlah kegiatan industri yang signifikan, yang menyebabkan penurunan kualitas udara. Penelitian ini bertujuan untuk meramalkan kualitas udara di Kota Bandung dengan menggunakan metode *fuzzy time series* yang dioptimalkan dengan algoritma genetika. Parameter-parameter penentu kualitas udara yang digunakan dalam penelitian ini antara lain konsentrasi PM_{2.5}, konsentrasi PM₁₀, dan konsentrasi NO₂. Dalam penelitian ini, logika *fuzzy* diterapkan untuk mengolah data historis parameter-parameter tersebut menjadi data *output* berupa estimasi kualitas udara, yang kemudian dibentuk melalui *Fuzzy Inference System* (FIS) menggunakan *fuzzy* Mamdani. Data *output* ini digunakan sebagai basis data historis dalam proses peramalan kualitas udara. Proses peramalan dilakukan dengan metode *fuzzy time series*, dan untuk meningkatkan akurasi prediksi, diterapkan metode optimasi, yaitu algoritma genetika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode gabungan antara algoritma genetika dan *fuzzy time series* menghasilkan peramalan kualitas udara yang lebih akurat dibandingkan dengan metode *fuzzy time series* konvensional. Tingkat akurasi yang diukur menggunakan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) sebesar 8,52% termasuk dalam kategori peramalan yang sangat baik, menunjukkan bahwa pendekatan yang diusulkan berhasil dalam memberikan prediksi kualitas udara.

Kata Kunci: kualitas udara, *fuzzy* Mamdani, algoritma genetika, *fuzzy time series*, Kota Bandung.

ABSTRACT

Air quality is an important element that has a significant impact on human health and comfort as well as environmental sustainability. Bandung City, as one of the major cities in Indonesia, has experienced a significant increase in the volume of motorized vehicles and the number of industrial activities, which has led to a decrease in air quality. This research aims to forecast air quality in Bandung using fuzzy time series method optimized by genetic algorithm. The parameters that determine air quality used in this study include $PM_{2.5}$ concentration, PM_{10} concentration, and NO_2 concentration. In this research, fuzzy logic is applied to process the historical data of these parameters into output data in the form of air quality estimation, which is then formed through a Fuzzy Inference System (FIS) using fuzzy Mamdani. This output data is used as a historical database in the air quality forecasting process. The forecasting process is carried out using the fuzzy time series method, and to improve prediction accuracy, an optimization method, namely genetic algorithm, is applied. The results show that the combined method between genetic algorithm and fuzzy time series produces more accurate air quality forecasting than the conventional fuzzy time series method. The accuracy rate measured using Mean Absolute Percentage Error (MAPE) of 8.52% falls into the category of excellent forecasting, indicating that the proposed approach is successful in providing air quality predictions.

Keywords: *air quality, fuzzy Mamdani, genetic algorithm, fuzzy time series, Bandung City.*

DAFTAR ISI

LEMBAR HAK CIPTA	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
UCAPAN TERIMA KASIH.....	v
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Pembatasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II LANDASAN TEORI	6
2.1 Peramalan	6
2.2 Analisis Runtun Waktu (<i>Time Series</i>)	6
2.3 Himpunan	7
2.4 Himpunan Semesta.....	7
2.5 Himpunan Tegas.....	8
2.6 Logika <i>Fuzzy</i>	8
2.7 Fungsi Keanggotaan	9
2.8 Himpunan <i>Fuzzy</i>	12
2.9 Metode Mamdani	13
2.10 Operator Dasar Himpunan <i>Fuzzy</i>	14
2.11 Fungsi Implikasi	15
2.12 Algoritma Genetika	16

2.12.1 Pengodean Algoritma Genetika	16
2.12.2 Pembangkitan Populasi Awal	17
2.12.3 Proses <i>Crossover</i>	18
2.12.4 Proses Mutasi	19
2.12.5 Perhitungan Nilai <i>Fitness</i>	20
2.12.6 Proses Seleksi	20
2.12.7 Kondisi Berhenti (<i>Termination Condition</i>).....	21
2.13 <i>Fuzzy Time Series</i>	21
2.13.1 Pembentukan Himpunan Semesta	22
2.13.2 Pembentukan Interval	22
2.13.3 Pembentukan Himpunan <i>Fuzzy</i>	23
2.13.4 Fuzzifikasi Data Historis	23
2.13.5 <i>Fuzzy Logical Relationship</i> (FLR) dan <i>Fuzzy Logical Relationship Group</i> (FLRG)	24
2.13.6 Defuzzifikasi	24
2.14 <i>Mean Absolute Percentage Error</i> (MAPE).....	25
2.15 Kelebihan <i>Fuzzy Time Series</i> dan Algoritma Genetika.....	25
2.16 Pencemaran Udara.....	26
2.17 Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)	26
BAB III METODE PENELITIAN	31
3.1 Identifikasi Masalah	31
3.2 Jenis dan Sumber Data	32
3.3 Tahapan Analisis Data.....	32
3.4 Program <i>Fuzzy Mamdani</i>	35
3.4.1 Pembentukan Himpunan <i>Fuzzy</i> dan Fungsi Keanggotaannya.....	35
3.4.2 Input Aturan-aturan <i>Fuzzy</i>	37
3.4.3 Defuzzifikasi	38
3.5 Penyelesaian Peramalan Kualitas Udara dengan Algoritma Genetika dan <i>Fuzzy Time Series</i>	38
3.5.1 Algoritma Genetika.....	38
3.5.2 <i>Fuzzy Time Series</i>	40
3.6 Ilustrasi Kasus Sederhana.....	41
3.6.1 Fuzzifikasi.....	41

3.6.2 Aplikasi Operator <i>Fuzzy</i>	45
3.6.3 Aplikasi Fungsi Implikasi	47
3.6.4 Komposisi Aturan	49
3.6.5 Defuzzifikasi	50
3.6.6 Penentuan Himpunan Semesta dan Subhimpunan Data Latih.....	51
3.6.7 Penentuan Parameter Algoritma Genetika.....	52
3.6.8 Representasi Kromosom	52
3.6.9 Pembentukan Populasi	52
3.6.10 Proses <i>Crossover</i>	53
3.6.11 Proses Mutasi	54
3.6.12 Seleksi dan Evaluasi Nilai <i>Fitness</i>	54
3.6.13 Menentukan Himpunan Semesta dan Subhimpunan	55
3.6.14 Himpunan <i>Fuzzy</i>	55
3.6.15 Fuzzifikasi.....	56
3.6.16 <i>Fuzzy Logical Relationship (FLR)</i>	57
3.6.17 <i>Fuzzy Logical Relationship Group (FLRG)</i>	57
3.6.18 Defuzzifikasi	58
3.6.19 Peramalan dan Perhitungan MAPE	58
3.6.20 Peramalan Data Uji.....	59
3.7 Validasi Program Perhitungan.....	59
3.8 Implementasi	60
3.9 Penarikan Kesimpulan.....	60
BAB IV PEMBAHASAN.....	61
4.1 Data Konsentrasi Pencemar udara.....	61
4.2 Pengolahan Data <i>Input</i>	62
4.2.1 Hasil Pembentukan Himpunan <i>Fuzzy</i> dan Fungsi Keanggotaannya	62
4.2.2 Hasil <i>Input</i> Aturan-aturan <i>Fuzzy</i>	65
4.2.3 Defuzzifikasi dan Interpretasi	66
4.3 Peramalan dengan Algoritma Genetika dan <i>Fuzzy Time Series</i>	67
4.3.1 Algoritma Genetika.....	67
4.3.2 <i>Fuzzy Time Series</i>	74
4.4 Implementasi Program Peramalan Kualitas Udara.....	77

4.4.1 Parameter Algoritma Genetika	77
4.4.2 Peramalan Kualitas Udara	77
4.5 Validasi.....	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	81
5.1 Kesimpulan.....	81
5.2 Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Istilah dalam Algoritma Genetika	16
Tabel 2.2 <i>Binary Encoding</i>	17
Tabel 2.3 <i>Permutation Encoding</i>	17
Tabel 2.4 <i>Value Encoding</i>	17
Tabel 2.5 Pemetaan Basis Interval	23
Tabel 2.6 Kategori Nilai MAPE	25
Tabel 2.7 Konversi Nilai Konsentrasi	27
Tabel 2.8 Penentuan Kategori ISPU	29
Tabel 2.9 Kategori ISPU dan Solusi	29
Tabel 3.1 Data Pemisalan Parameter PM _{2.5} , PM ₁₀ , dan NO ₂	41
Tabel 3.2 Aturan-aturan Logika <i>Fuzzy</i>	45
Tabel 3.3 Perhitungan Absolut	51
Tabel 3.4 Subhimpunan	52
Tabel 3.5 Populasi Awal Parameter Kualitas Udara	53
Tabel 3.6 Hasil Kromosom	54
Tabel 3.7 Hasil Kromosom dan Nilai <i>Fitness</i>	55
Tabel 3.8 Himpunan <i>Fuzzy</i>	56
Tabel 3.9 Nilai Keanggotaan	56
Tabel 3.10 Fuzzifikasi	57
Tabel 3.11 <i>Fuzzy Logical Relationship</i>	57
Tabel 3.12 <i>Fuzzy Logical Relationship Group</i>	57
Tabel 3.13 Nilai Tengah Subhimpunan	58
Tabel 3.14 Defuzzifikasi	58
Tabel 3.15 Peramalan	58
Tabel 4.1 Data Konsentrasi PM _{2.5} , PM ₁₀ , dan NO ₂	62
Tabel 4.2 Nilai Kualitas Udara berdasarkan Parameter PM _{2.5} , PM ₁₀ , dan NO ₂ pada tanggal 16 Maret sampai dengan 15 Juni 2024	66
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Ukuran Populasi	67
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Kombinasi <i>Crossover Rate</i> dan <i>Mutation Rate</i>	68
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Jumlah Generasi	69

Tabel 4.6 Penentuan Parameter.....	77
Tabel 4.7 Data Kualitas Udara dan Hasil Peramalan.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurva Linear Naik.....	9
Gambar 2.2 Kurva Linear Turun.....	10
Gambar 2.3 Kurva Segitiga.....	10
Gambar 2.4 Kurva Trapesium.....	11
Gambar 2.5 Kurva Bentuk Bahu.....	11
Gambar 2.6 Contoh Himpunan <i>Fuzzy</i>	12
Gambar 2.7 Ilustrasi Defuzzifikasi.....	14
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Analisis Data.....	34
Gambar 3.2 Jendela Awal <i>FIS Editor</i>	35
Gambar 3.3 Jendela <i>FIS Editor</i> setelah Ditambahkan Variabel <i>Input</i>	36
Gambar 3.4 Jendela Awal <i>Membership Functions Editor</i>	36
Gambar 3.5 Jendela <i>Membership Functions</i>	37
Gambar 3.6 Jendela <i>Rule Editor</i>	37
Gambar 3.7 Jendela Awal <i>Rule Viewer</i>	38
Gambar 3.8 Kurva Fungsi Keanggotaan $PM_{2.5}$	42
Gambar 3.9 Kurva Fungsi Keanggotaan PM_{10}	43
Gambar 3.10 Kurva Fungsi Keanggotaan NO_2	44
Gambar 3.11 Kurva Fungsi Keanggotaan Kualitas Udara.....	45
Gambar 3.12 Ilustrasi Fungsi Implikasi [R6].....	47
Gambar 3.13 Ilustrasi Fungsi Implikasi [R7].....	48
Gambar 3.14 Ilustrasi Fungsi Implikasi [R21].....	48
Gambar 3.15 Ilustrasi Fungsi Implikasi [R22].....	49
Gambar 3.16 Daerah Hasil Komposisi.....	50
Gambar 3.17 Partisi Daerah Hasil Komposisi.....	50
Gambar 3.18 Hasil Himpunan <i>Fuzzy</i>	56
Gambar 3.19 Hasil Peramalan Kualitas Udara.....	59
Gambar 4.1 Himpunan <i>Fuzzy</i> dan Fungsi Keanggotaan Variabel $PM_{2.5}$	63
Gambar 4.2 Himpunan <i>Fuzzy</i> dan Fungsi Keanggotaan Variabel PM_{10}	63
Gambar 4.3 Himpunan <i>Fuzzy</i> dan Fungsi Keanggotaan Variabel NO_2	64
Gambar 4.4 Himpunan <i>Fuzzy</i> dan Fungsi Keanggotaan Variabel Kualitas Udara.....	64

Gambar 4.5 Jendela <i>FIS Editor</i>	65
Gambar 4.6 Jendela <i>Rule Editor</i>	65
Gambar 4.7 Nilai <i>Output</i> Tanggal 16 Maret 2024	66
Gambar 4.8 Grafik Hasil Peramalan Data Kualitas Udara	78

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Konsentrasi PM _{2.5} , PM ₁₀ , dan NO ₂	87
Lampiran 2 Data Kualitas Udara dan Hasil Peramalan	90
Lampiran 3 Hasil Pengujian Kombinasi <i>Crossover Rate</i> dan <i>Mutation Rate</i>	96

DAFTAR PUSTAKA

- Arkeman, Y., Seminar, K. B., & Gunawan, H. (2012). *Algoritma Genetika Teori dan Aplikasinya untuk Bisnis dan Industri*. IPB Press.
- As'ari, R. M. (2022). Hubungan Kadar PM_{2.5} dan PM₁₀ Terhadap Keluhan Dyspnea Warga Desa Lakardowo, Kabupaten Mojokerto, Provinsi Jawa Timur. *Environmental Pollution Journal*, 2(2), 419-425.
- Ashari, I. (2016). *Perbandingan Performansi Algoritma Genetika dan Algoritma Ant Colony Optimization dalam Optimasi Penjadwalan Mata Kuliah*. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Asrianda. (2017). Pendapat Masyarakat Disekitar Kampus dengan Adanya Mahasiswa Menggunakan Fuzzy. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 1(1), 169-177. doi: <https://doi.org/10.29103/sisfo.v1i1.250>
- Atalla, M. N. (2020). *Penentuan Daerah Rawan Polusi Udara Dengan Menggunakan Logika Fuzzy Metode Mamdani*. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Dewapandhu & Pribadi. (2023). Analisis Penyebaran Gas Nitrogen Dioksida (NO₂) di Jalan Raya Dramaga-Ciampea Kabupaten Bogor dengan Menggunakan Model Caline-4. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 8(1), 67-76.
- Dwitanto, D. (2011). *Analisis Runtun Waktu Untuk Meramalkan Jumlah Pasien yang Berobat di Puskesmas Blora*. Universitas Negeri Semarang, Semarang.
- Fauziah. (2016). Peramalan Menggunakan Fuzzy Time Series Chen (Studi Kasus: Curah Hujan Kota Samarinda). *Jurnal Statistika Universitas Muhammadiyah*, 4(2), 52-61.
- Hafizhah, S. (2023). *Penentuan Rute Penjemputan Sampah Terpilah Dengan Mengaplikasikan Penyelesaian Multi Traveling Salesman Problem Menggunakan Algoritma Genetika*. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Handayani, D., Yunus, F., & Wiyono, W. (2003). Pola Penyebaran Gas NO₂ di Udara Ambien Kawasan Utara Kota Semarang pada Musim Kemarau Menggunakan Program ISCST3. *Jurnal Presipitasi*, 1(1), 8-9.

- Haris, S. (2010). *Implementasi Metode Fuzzy Time Series Dengan Penentuan Interval Berbasis Rata-rata Untuk Peramalan Data Penjualan Bulanan*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Hartini, D. (2016). *Penerapan Model ARFIMA (Autoregressive Fractionally Integrated Moving Average) dalam Prakiraan Data Suku Bunga PUAB (Pasar Uang Antar Bank)*. Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah Jakarta, Jakarta.
- Hasudungan, F. O., Umbara, R. F., & Triantoro, D. (2016). Prediksi Harga Saham dengan Metode *Fuzzy Time Series* dan Metode *Fuzzy Time Series-Genetic Algorithm* (Studi Kasus: PT Bank Mandiri (persero) Tbk). *E-proceeding of Engineering*, 3(3), 5372-5377.
- Insani & Sari. (2020). *Optimization of Interval Fuzzy Time Series with Particle Swarm Optimization for Prediction Air Quality on Pekanbaru*. *Indonesian Journal of Artificial Intelligence and Data Mining*, 3(1), 36-41.
- Isedang & Rahmah. (2019). Penerapan *Fuzzy Time Series* Dalam Peramalan Nilai KWH Listrik Golongan Tarif Rumah Tangga di Jawa Timur. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(1), 2337-3520.
- Istiqara, K. (2018). *Prediksi Kebutuhan Air PDAM Kota Malang Menggunakan Metode Fuzzy Time Series Dengan Algoritma Genetika*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Kartika, Y. (2022). *Penerapan Metode High-Order Fuzzy Time Series Markov Chain dengan Penentuan Interval Berbasis Distribusi, Sturges dan Rata-rata Pada Peramalan Harga Saham Studi Kasus Harga Penutupan Saham Harian PT. Bank Central Asia Tbk*. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Kusumadewi, S., & Purnomo, H. *Aplikasi Logika Fuzzy*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Khairina, N. (2019). *Logika Fuzzy*. Universitas Medan Area.
- Khopipah, P. (2023). *Pemodelan Peramalan Menggunakan Metode Fuzzy Time Series Markov Chain Orde Satu dan Dua Studi Kasus Penjualan Mobil Merek Toyota*. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Mitchell, M. (1996). *An Introduction to Genetic Algorithms*. London: MIT Press.

- Mulyana, F. (2022). *Perbandingan Peramalan Harga Emas Menggunakan Metode Average Based dan Metode Automatic Clustering*. Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- Nabillah, I., & Ranggadara, I. (2020). *Mean Absolute Percentage Error* untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut. *Journal of Information System*, 5(2), 250-255. doi: [10.33633/joins.v5i2.3900](https://doi.org/10.33633/joins.v5i2.3900)
- Pahlevi, R. (2015). *Model Kombinasi Algoritma Genetika dan Algoritma Fuzzy Time Series Dalam Prediksi Jumlah Calon Mahasiswa Baru : Studi Kasus di STIKOM Dinamika Bangsa Jambi*. Universitas Budi Luhur, Jakarta Selatan.
- Putri, E. P. D. (2012). Konsentrasi PM_{2,5} di Udara dalam Ruang dan Penurunan Fungsi Paru pada Orang Dewasa di Sekitar Kawasan Industri Pulo Gadung Jakarta Timur Tahun 2012. *Jakarta: FKM UI*.
- Rahmah, E. H. O., & Isedang, M. I. (2019). Penerapan *Fuzzy Time Series* Dalam Peramalan Nilai KWH Listrik Golongan Tarif Rumah Tangga di Jawa Timur. *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 8(1), 2337-3520.
- Rama, M. P. (2020). *Optimasi Fuzzy Time Series Menggunakan Algoritma Genetika pada Peramalan Harga Jual Logam Mulia Emas*. Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Ridhwan, A. (2016). *Peramalan Produksi Gula Pasir Menggunakan Fuzzy Time Series Dengan Optimasi Algoritma Genetika (Studi Kasus PG Candi Baru Sidoarjo)*. Universitas Brawijaya, Malang.
- Sulistiyorini & Mahmudy. (2015). Penerapan Algoritma Genetika Untuk Permasalahan Optimasi Distribusi Barang Dua Tahap. *DORO: Repository Jurnal Mahasiswa PTIK Universitas Brawijaya*, 5(12), 1-12.
- World Health Organization (WHO). (2021). *WHO Global Air Quality Guidelines*. Geneva: World Health Organization.
- Wicaksana, A. S., Setiawan, B. D., & Rahayudi, B. (2018). Algoritma Genetika untuk Optimasi *Fuzzy Time Series* dalam Memprediksi Kepadatan Lalu Lintas di Jalan Tol. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 2(3), 1063-1071.
- Widiastuti, N. I. (2011). *Matematika Diskrit*. Universitas Komputer Indonesia.

Yaslan, R. S., Abdurrahman, G., & Yanuarti, R. (2020). Implementasi Metode *Fuzzy Time Series* untuk Peramalan Kandungan *Particulate Matter* (PM_{2.5}) di Udara. *Jurnal Aplikasi Sistem Informasi dan Elektronika*, 2(1). doi: <https://doi.org/10.32528/jasie.v1i1.3818>