

**PREDIKSI KUALITAS UDARA BERDASARKAN INDEKS STANDAR  
PENCEMAR UDARA MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF  
TIRUAN–*PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (JST-PSO)**

**SKRIPSI**

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Sains Bidang Studi Matematika**



**OLEH :**

**SHANIA PUTRI ANDHINI  
NIM. 08011181621024**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
JANUARI 2021**

LEMBAR PENGESAHAN

PREDIKSI KUALITAS UDARA BERDASARKAN INDEKS STANDAR  
PENCEMAR UDARA MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF  
TIRUAN-PARTICLE SWARM OPTIMIZATION (JST-PSO)

SKRIPSI

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh  
Gelar Sarjana Matematika

Oleh

SHANIA PUTRI ANDHINI  
NIM. 08011181621024

Pembimbing Pembantu



Anita Desiani, S.Si., M.Kom  
NIP. 197712112003122002

Indralaya, 21 Januari 2021  
Pembimbing Utama



Drs. Sugandi Yahdin, M.M  
NIP. 19580727 198603 1 003

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Matematika



Drs. Sugandi Yahdin, M.M  
NIP. 19580727 198603 1 003

## LEMBAR PERSEMBAHAN

### Motto

*"Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya."  
(QS.Al Baqarah : 286)*

*"Jangan hanya dipikirkan, jangan hanya dibayangkan. Kerjakanlah walau hanya sedikit. Karna badai itu pasti berlalu"*

Skripsi ini kupersembahkan kepada:

1. Allah SWT
2. Kedua Orangtuaku
3. Saudaraku
4. Keluarga Besarku
5. Semua Dosen dan Guruku
6. Teman-temanku
7. Almamaterku

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala kasih sayang, rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Prediksi Kualitas Udara Berdasarkan Indeks Standar Pencemar Udara Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) – Particle Swarm Optimization (PSO)”** dengan baik dan tepat pada waktunya.

Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Matematika di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya. Penulis sadar bahwa skripsi ini terselesaikan karena mendapatkan bantuan dan dorongan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang tak terhingga sekaligus penghargaan kepada :

1. Orang tuaku tercinta Bapak **Moch Ajidin, S.E** dan **Ir. Rika Apriyani** karena telah sabar dalam menghadapiku, memotivasiku, memberikan segala kebutuhanku secara materil dan moral serta doa mereka yang tidak ada hentinya diiringi dengan dukungan yang membuat penulis bisa sampai titik ini.
2. Bapak **Prof. Dr. Ishaq Iskandar, M.Sc** selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Unviersitas Sriwijaya.
3. Bapak **Drs. Sugandi Yahdin, M.M** selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam sekaligus selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah memberikan waktunya untuk membantu

dan memberikan saran dalam pengerjaan skripsi ini dan Ibu **Des Alwine Zayanti, M.Si** selaku Sekretaris Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya sekaligus dosen pembahas yang telah memberi tanggapan dan saran dalam pengerjaan skripsi ini.

4. Ibu **Anita Desiani, S.Si., M.Kom** selaku Dosen Pembimbing tugas akhir yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga dan pikiran serta tak lepas juga nasihat, motivasi, dan kesabaran yang tak ada habisnya dalam membimbing penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Ibu **Drs. Ali Amran, M.T** selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah sangat baik membimbing dan mengarahkan urusan akademik kepada penulis di setiap semester selama belajar di Jurusan Matematika FMIPA Universitas Sriwijaya.
6. Ibu **Yulia Resti, S.Si.,M.Si.,Ph.D** dan Bapak **Dr. Bambang Suprihatin, M.Si** sebagai Dosen Pembahas skripsi yang telah memberikan tanggapan dan saran yang bermanfaat dalam pengerjaan skripsi ini.
7. **Seluruh Dosen** di Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat kepada penulis selama menempuh pendidikan.
8. Kakaku **Annisa Putri Oktaviani, S.T**, adikku **Lucky Cessa Putra Khaliq**, Sepupuku **Mayang Tri Andari, S.Pd** dan **Rinaldy Onky H, S.H** yang telah menemani dan menghibur penulis selama masa perkuliahan dari awal sampai sekarang serta seluruh **Keluarga Besarku** yang tidak bisa

penuliskan satu persatu, terima kasih untuk segala dukungan dan semangat yang telah diberikan kepada penulis.

9. Teman-teman seperantauan **Nesa Aulia Andestra, Seveni Agustina, ilham, Delia, Ranti, Dinda, Desta** dan rombongan hore **Aldi, Kando, Putra, Nogie, Obet, Muaz, Afifah, Wawan, Nabilah, Arap** yang telah menemani, menjaga, merawat, dan memberikan kegembiraan selama kuliah di Universitas Sriwijaya dan semoga seterusnya seperti itu.
10. Teman, kakak, dan adik Tim Project, **kak Naufal, kak Willy, kak Nisa, Fatur, Anita, Ilham, Irvan, Yogi, Calista, Ona, Gibran, Filda, Ajeng, Zaim,** dan **Fathona** terima kasih untuk semuanya, untuk bantuannya, semangat dan kebersamaan selama kuliah dan bimbingan mengerjakan skripsi ini.
11. Pak **Irwan** dan Ibu **Hamidah** yang telah banyak membantu dalam proses administrasi dan semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini. Semoga segala kebaikan yang diberikan mendapatkan balasan dari Allah SWT.

Mudah-mudahan

skripsi ini dapat menambah pengetahuan dan bermanfaat bagi mahasiswa/mahasiswi Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Sriwijaya dan semua pihak yang memerlukan.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb*

Indralaya, Januari 2021

**PREDICTION OF AIR QUALITY BASED ON AIR POLLUTANT INDEX  
USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORK - PARTICLE SWARM  
OPTIMIZATION (ANN-PSO)**

**By:**

**Shania Putri Andhini  
08011181621024**

**ABSTRACT**

The Air Pollutant Index (API) is a standard for measuring the level of air quality in Indonesia. The API category is used as information on the air condition in a certain area. The high value of API can cause health problems and reduce economic productivity. The category of air quality conditions in a place is determined based on 5 parameters, SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, and CO. In this research, the API value used came from the DKI Jakarta Provincial Environmental Office from 2017-2019, where the API value was recorded regularly so that the data collected was 1075 data. Air quality prediction using the ANN-PSO method was used to determine the API category. Data sharing on training data and test data using percentage split and based on the year of the API value. To see the ANN-PSO performance, the measurement results of this method are compared with ANN only. In the measurement results of the ANN-PSO method using data sharing by year also produces a value that is not far off by using the percentage split. One of the results of the prediction measurement using the ANN-PSO method at a percentage that resulted in an accuracy value of 88%, a sensitivity value of 0.668 and a specificity value of 0.951, the measurement values increased quite well when compared to the ANN only. It can be shown that the ANN-PSO method is quite good in predicting air quality based on the 5 API's parameters.

**Keyword : Artificial Neural Network, Particle Swarm Optimization, Air Quality, Prediction and Air Pollutant Index**

**PREDIKSI KUALITAS UDARA BERDASARKAN INDEKS STANDAR  
PENCEMAR UDARA MENGGUNAKAN JARINGAN SYARAF  
TIRUAN–*PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* (JST-PSO)**

Oleh :

**Shania Putri Andhini  
08011181621024**

**ABSTRAK**

Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) merupakan standar untuk mengukur tingkat kualitas udara di Indonesia. Kategori pada ISPU digunakan sebagai informasi keadaan kualitas udara pada wilayah tertentu. Tingginya nilai ISPU dapat mengakibatkan gangguan kesehatan dan penurunan produktivitas ekonomis. Kategori pada kondisi kualitas udara disuatu tempat ditentukan berdasarkan 5 parameter yaitu SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, dan CO. Pada penelitian ini nilai ISPU yang digunakan berasal dari Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta dari tahun 2017-2019, dimana pencatatan nilai ISPU dilakukan setiap hari secara berkala sehingga data yang terkumpul yaitu 1075 data. Prediksi kualitas udara dengan metode JST-PSO digunakan untuk menentukan kategori ISPU. Pembagian data pada data latih dan data uji dengan menggunakan *percentage split* dan pembagian data berdasarkan tahun ISPU. Untuk melihat kinerja JST-PSO hasil pada pengukuran metode tersebut dibandingkan dengan metode JST saja. Pada hasil pengukuran metode JST-PSO menggunakan pembagian data berdasarkan tahun juga menghasilkan nilai yang tidak jauh dengan menggunakan *percentage split*. Salah satu hasil pengukuran prediksi menggunakan metode JST-PSO pada *percentage split* menghasilkan nilai akurasi sebesar 88%, nilai sensitivitas sebesar 0.668 dan nilai spesifisitas sebesar 0,951 nilai pengukuran tersebut mengalami peningkatan yang cukup baik jika dibandingkan dengan metode JST saja. Dapat disimpulkan metode JST-PSO cukup baik dalam memprediksi kualitas udara berdasarkan 5 parameter ISPU.

Kata kunci : Jaringan Syaraf Tiruan, *Particle Swarm Optimization*, Kualitas Udara, Prediksi dan Indeks Standar Pencemar Udara



## DAFTAR ISI

Halaman

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGASAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PERSEMBAHAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	4
1.3 Pembatasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan.....	4
1.5 Manfaat.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) .....	5
2.2 Jaringan Syaraf Tiruan (JST) .....	6
2.3 Algoritma Multi Layer Perceptron (MLP) .....	10
2.4 Particle Swarm Optimization (PSO) .....	12
2.5 Mengukur Kinerja Algoritma.....	14
<b>BAB III METODELOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Tempat.....	16
3.2 Waktu .....	16
3.3 Alat .....	16
3.4 Metode Penelitian.....	16
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	
4.1 Deskripsi Data .....	19
4.2 Pre-Processing Data .....	20
4.3 Process Mining .....	21
4.3.1 Ilustrasi Perhitungan Manual Metode JST-PSO .....	22
4.3.2 Penerapan JST-PSO pada Data Penelitian .....	40
4.4 Mengukur Kinerja Algoritma.....	41
4.5 Analisis Hasil dan Kesimpulan .....	47
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>	
5.1 Kesimpulan.....	50
5.2 Saran.....	50
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>51</b>
<b>Lampiran .....</b>	<b>53</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter Pengukuran ISPU (Keputusan Kepala Bapedal No. 107 Tahun 1997).....	5
Tabel 2.2	Kategori Kualitas Udara dan Dampaknya (Keputusan Kepala Bapedal No. 17 Tahun 1997).....	6
Tabel 2.3	<i>Confusion Matrix</i> Untuk Dua Kelas.....	14
Tabel 2.4	Kategori Nilai Akurasi .....	15
Tabel 4.1	Dataset Indeks Standar Pencemar Udara Tahun 2017-2019 (Dinas Lingkungan Hidup Provinsi DKI Jakarta) .....	20
Tabel 4.2	Contoh Data pada Ilustrasi Perhitungan Manual .....	22
Tabel 4.3	Partikel PSO Iterasi Ke-1 .....	34
Tabel 4.4	Velocity Partikel Iterasi Ke-1 .....	34
Tabel 4.5	Bobot <i>Input Layer</i> ke <i>Hidden Layer</i> pada Partikel Pertama .....	25
Tabel 4.6	Bobot <i>Hidden Layer</i> ke <i>Output Layer</i> pada Partikel Pertama .....	27
Tabel 4.7	Prediksi Data Latih pada $P_1$ .....	28
Tabel 4.8	<i>Confusion Matrix</i> pada $P_1$ .....	29
Tabel 4.9	Partikel Terbaik Iterasi Ke-1 .....	34
Tabel 4.10	Velocity Partikel Iterasi Ke-2 .....	35
Tabel 4.11	Partikel Pso Baru Iterasi Ke-2.....	35
Tabel 4.12	Partikel Terbaik Iterasi ke-2.....	34
Tabel 4.13	Perbandingan Akurasi Iterasi Ke-1 dan Ke-2 .....	32
Tabel 4.14	Partikel Terbaik pada Keseluruhan Iterasi .....	36
Tabel 4.15	Bobot <i>Hidden Layer</i> Proses Pengujian .....	37
Tabel 4.16	Bobot <i>Output Layer</i> pada Proses Pengujian .....	39
Tabel 4.17	<i>Confusion Matrix</i> pada Data Penelitian Algoritma JST.....	42
Tabel 4.18	Kinerja Algoritma Metode JST .....	44
Tabel 4.19	<i>Confusion Matrix</i> pada Data Penelitian Algoritma JST-PSO.....	45
Tabel 4.20	Kinerja Algoritma Metode JST-PSO .....	47
Tabel 4.21	Hasil Kinerja Algoritma pada Data Penelitian.....	48
Tabel 4.22	Perbandingan Hasil Penelitian dengan Penelitian Lainnya .....	49

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 <i>Single Layer Network</i> (Graupe, 2007).....	8
Gambar 2.2 <i>Multi Layer Netwok</i> (Graupe, 2007) .....	9
Gambar 4.1 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan untuk 2 <i>Hidden Layer</i> .....	21
Gambar 4.2 Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan untuk Ilustrasi Hitungan Manual	23
Gambar 4.3 Arsitektur JST pada Data Penelitian .....	40

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pertumbuhan aktivitas ekonomi dan urbanisasi yang cukup tinggi di perkotaan mengakibatkan peningkatan penggunaan energi bahan bakar untuk listrik maupun kendaraan yang menimbulkan sisa pembakaran dari pemakaian bahan bakar tersebut. Sisa pembakaran bahan bakar tersebut merupakan sumber-sumber pencemar udara (Kang *et al.* 2018). Berdasarkan PP No.14 tahun 1999, udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi yang dihirup oleh makhluk hidup. Pada Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup nomor KEP45/MENLH/1997 dinyatakan bahwa untuk memberikan kemudahan kepada masyarakat mengenai informasi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu dan sebagai bahan pertimbangan untuk upaya pengendalian pencemaran udara perlu disusun Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Tingginya indeks pencemar udara mengakibatkan gangguan kesehatan yang mengakibatkan turunnya nilai produktivitas serta mengakibatkan kerugian ekonomis hingga permasalahan sosial ekonomi keluarga dan masyarakat (Liu *et al.* 2019).

Pada nilai ISPU terdapat parameter dasar pengukuran dimana hasil perhitungan dari parameter tersebut digunakan untuk melakukan kategorisasi kondisi kualitas udara disuatu tempat (Liu *et al.* 2019). Penentuan kategori pada ISPU sesuai dengan lampiran Kepala Bapedal No. 107 tahun 1997 dengan berdasarkan beberapa parameter yaitu SO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, dan CO. Nilai ISPU

berasal dari berbagai Stasiun Pemantau Kualitas Udara sehingga banyaknya jumlah data dan cepat berubah setiap harinya sehingga pentingnya prediksi kualitas udara untuk membantu dalam menentukan kategori pada suatu tempat. Lin *et al.*, (2018) pernah melakukan penelitian tentang prediksi kualitas udara menggunakan metode Cloud Model Granulation pada Kota Wuhan. Penelitian tersebut menghasilkan akurasi yang cukup baik sebesar 71.43%, namun penelitian tersebut hanya mengukur kinerja algoritma dengan akurasi saja tanpa dengan penilaian lainnya misalnya sensitivitas ataupun spesififikasi. Penelitian lainnya yang memprediksi kualitas udara yaitu penelitian yang dilakukan oleh Yu *et al.*, (2016) menggunakan Random Forest sebagai metode penelitiannya. Penelitian tersebut menghasilkan nilai sensitivitas yang cukup baik namun tidak menampilkan nilai akurasi untuk metode yang digunakan pada penelitian itu. Metode lainnya yang dapat digunakan untuk memprediksi kualitas udara yaitu Jaringan Syaraf Tiruan (JST) karena JST memiliki tingkat error yang rendah dan mampu mengenali suatu pola tertentu (Hasanipannah *et al.*, 2016). JST mengadopsi kinerja otak manusia yang dapat mengenali pola tertentu (Fausett, 1994). JST memiliki kelebihan dalam mengenali pola dengan cara pengaturan diri (*self organizing*). Namun, untuk proses pertama pada input harus membangkitkan bobot secara acak, jika bobot yang dibangkitkan terlalu besar akan mengakibatkan waktu pelatihan yang lama untuk mencapai konvergen menyebabkan kegagalan dalam pencarian solusi global (Bhattacharjee dan Pant, 2019). Untuk mengatasi permasalahan tersebut agar bobot pada JST tidak terlalu jauh dapat dengan menerapkan salah satu algoritma dengan teknik optimasi.

Salah satu metode optimasi yang cukup banyak digunakan yaitu *Particle Swarm Optimization* (PSO) (Garg *et al.* 2014). PSO memiliki kelebihan dengan proses yang lebih sederhana dibandingkan algoritma optimasi lainnya seperti algoritma genetika (Movagharnejad & Vafaei, 2018). Ada beberapa cara PSO dalam pengoptimasian meningkatkan bobot atribut, menyeleksi atribut (*attribute selection*) dan menyeleksi feature (*feature selection*) (Badrul, 2013). Santosa (2011) menyatakan bahwa pada PSO setiap partikelnya memiliki posisi dan kecepatan dimana posisi terbaik pada PSO akan menjadi bobot bagi jaringan syaraf tiruan. Beberapa penelitian yang telah menggunakan metode JST-PSO untuk kasus prediksi. Salah satunya yaitu untuk memprediksi diagnosis awal pada penyakit Demam Berdarah (Gambhir *et al.*, 2017). Penelitian tersebut melakukan perbandingan akurasi antara *single* JST dan JST-PSO. Hasil dari penelitian tersebut metode JST-PSO mengalami kenaikan akurasi sebesar 8%. Selain itu penelitian Gambhir *et al.*, (2017) menggunakan spesifisitas dan sensitivitas sebagai pengukuran lain untuk melihat kinerja mesin terhadap informasi data.

Dengan melihat kelebihan pada JST-PSO yang dapat meningkatkan akurasi dan banyaknya data ISPU dari beberapa daerah serta data yang cepat berubah, JST-PSO dapat menjadi salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk memprediksi kualitas udara. Maka dari itu, pada penelitian ini akan membahas prediksi kualitas udara berdasarkan ISPU dengan menggunakan JST-PSO.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Bagaimana kinerja algoritma JST-PSO dalam memprediksi kualitas udara berdasarkan nilai ISPU.

## **1.3 Pembatasan Masalah**

Pada penelitian ini, pengukuran keakuratan dibatasi pada beberapa nilai yaitu:

1. Akurasi untuk menilai kemampuan dari pembelajaran mesin untuk memprediksi label dari setiap data.
2. Sensitivitas untuk menilai kelas positif yang diprediksi benar oleh mesin pada kelas positif
3. Spesifisitas untuk menilai kebenaran mesin dalam memprediksi kelas negatif terhadap seluruh data pada kelas negatif.

## **1.4 Tujuan**

Mengukur kinerja algoritma JST-PSO dalam memprediksi kualitas udara berdasarkan nilai akurasi, sensitivitas dan spesifisitas yang diperoleh dari metode tersebut.

## **1.5 Manfaat**

Mendapatkan model pada JST-PSO yang dapat digunakan dalam memprediksi kondisi kualitas udara berdasarkan data pada ISPU di kota DKI Jakarta.

## Daftar Pustaka

- Badrul, M. (2013). Prediksi Hasil Pemilu Legislatif Dki Jakarta Dengan Metode Neural Network Berbasis Particle Swarm Optimization. *Techno Nusa Mandiri*, 9(1), 37–47.
- Bhattacharjee, K., & Pant, M. (2019). Hybrid particle swarm optimization-genetic algorithm trained multi-layer perceptron for classification of human glioma from molecular brain neoplasia data. *Cognitive Systems Research*, 58, 173–194. <https://doi.org/10.1016/j.cogsys.2019.06.003>
- Clerc, M. (2006). Particle Swarm Optimization. In *Particle Swarm Optimization*.
- Fausett, L. (1994). *Fundamentals of Neural Networks: Architectures, Algorithms and Applications*. Prentice-Hall.
- Gambhir, S., Malik, S. K., & Kumar, Y. (2017). PSO-ANN based diagnostic model for the early detection of dengue disease. *New Horizons in Translational Medicine*, 4(1–4), 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.nhtm.2017.10.001>
- Garg, S., Patra, K., & Pal, S. K. (2014). Particle swarm optimization of a neural network model. *Indian Academy of Sciences Particle*, 39, 533–548.
- Gorunescu, F. (2011). *Data Mining : Concepts, Models and Techniques*. Springer.
- Graupe, D. (2007). Principles of Artificial Neural Networks (2nd Edition). In *World Scientific* (Vol. 53, Issue 9). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hasanipanah, M., Noorian-Bidgoli, M., Jahed Armaghani, D., & Khamesi, H. (2016). Feasibility of PSO-ANN model for predicting surface settlement caused by tunneling. *Engineering with Computers*, 32(4), 705–715. <https://doi.org/10.1007/s00366-016-0447-0>
- Kang, G. K., Gao, J. Z., Chiao, S., Lu, S., & Xie, G. (2018). Air Quality Prediction: Big Data and Machine Learning Approaches. *International Journal of Environmental Science and Development*, 9(1), 8–16. <https://doi.org/10.18178/ijesd.2018.9.1.1066>
- Lin, Y., Zhao, L., Li, H., & Sun, Y. (2018). Air quality forecasting based on cloud model granulation. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1). <https://doi.org/10.1186/s13638-018-1116-3>
- Liu, H., Li, Q., Yu, D., & Gu, Y. (2019). Air quality index and air pollutant concentration prediction based on machine learning algorithms. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(19). <https://doi.org/10.3390/app9194069>
- Mentari, M., Sari, E. K. R., & Mutrofin, S. (2014). Klasifikasi Menggunakan



Kombinasi Multilayer Perceptron dan Alignment Particle Swarm Optimization. *Seminar Nasional Teknologi Informasi Dan Komputasi 2014, 10–11*(October 2014). <https://doi.org/10.13140/2.1.3932.9281>

Movagharnejad, K., & Vafaei, N. (2018). A Comparison Between GA and PSO Algorithms in Training ANN to Predict the Refractive Index of Binary Liquid Solutions. *Journal of Chemical and Petroleum Engineering, October*, 125–135. <https://doi.org/10.22059/JCHPE.2018.238595.1208>

Ramchoun, H., Idrissi, M. A. J., Ghanou, Y., & Ettaouil, M. (2016). Multilayer Perceptron: Architecture Optimization and Training. *International Journal of Interactive Multimedia and Artificial Intelligence*, 4(1), 26. <https://doi.org/10.9781/ijimai.2016.415>

Santosa, B. (2011). Particle Swarm Optimization. In *Metoda Metaheuristik, Konsep dan Implementasi*. Graha Ilmu. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-37846-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-37846-1_3)

Siang, J. J. (2005). *Jaringan Syaraf Tiruan dan Pemrogramannya Menggunakan Matlab*.

Yadav, M., Jain, S., & Seeja, K. . (2019). Prediction of Air Quality Using Time Series Data Mining. *International Conference on Innovative Computing and Communications. Lecture Notes in Networks and Systems*, 2(January), 411–419. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-2354-6>

Yu, R., Yang, Y., Yang, L., Han, G., & Move, O. A. (2016). RAQ–A Random Forest Approach for Predicting Air Quality in Urban Sensing System. *Sensors (Switzerland)*, 16(1). <https://doi.org/10.3390/s16010086>