



MODIFIKASI JARINGAN *BACKPROPAGATION* DENGAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK PERAMALAN CURAH HUJAN

SKRIPSI

Oleh
Anik Magfirotul Amalia
NIM 161810101044

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2020



MODIFIKASI JARINGAN *BACKPROPAGATION* DENGAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK PERAMALAN CURAH HUJAN

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Matematika (S1) dan mencapai gelar sarjana

Oleh
Anik Magfirotul Amalia
NIM 161810101044

JURUSAN MATEMATIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2020

PERSEMBAHAN

Dengan nama Allah SWT Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, skripsi ini dipersembahkan kepada:

1. Ayahanda komariyanto dan Dedi Ansori Serta Ibunda Roniyati dan Nurhayati yang selalu mendoakan serta memberikan dukungan, semangat, dan motivasi yang tidak pernah terputus.
2. Kakek tercinta Sugerman dan nenek tercinta Holida yang selalu mendoakan serta memberikan dukungan, semangat, dan motivasi yang tidak pernah terputus.
3. Adik tersayang Sisil, Saofil, Ilmi dan Silvi yang selalu membuat keributan untuk menyenangkan hati kakak.
4. Semua pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

MOTTO

“Tidak ada kesuksesan melainkan dengan pertolongan Allah”

(Q.S. Hud 88)

“Jika kau tak suka sesuatu, ubahlah!

Jika tak bisa, maka ubahlah cara sudut pandang tentangnya”

(Maya Angelou)



PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Anik Magfirotul Amalia

NIM : 161810101044

menyatakan bahwa karya ilmiah yang berjudul “Modifikasi Jaringan *Backpropagation* dengan *Particle Swarm Optimization*” untuk Peramalan Curah Hujan” adalah hasil karya ilmiah sendiri, kecuali jika dalam pengutipan subtansi disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dan paksaan dari pihak manapun dan bersedia mendapat sanksi akademik jika dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, Januari 2020

Yang menyatakan

Anik Magfirotul Amalia

NIM 161810101044

SKRIPSI

MODIFIKASI JARINGAN *BACKPROPAGATION* DENGAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION* UNTUK PERAMALAN CURAH HUJAN



Oleh
Anik Magfirotul Amalia
NIM 161810101044

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Abduh Riski, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Alfian Futuhul Hadi, S.Si., M.Si.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Modifikasi Jaringan *Backpropagation* dengan *Particle Swarm Optimization* untuk peramalan Curah Hujan” telah diuji dan disahkan pada:

hari, tanggal :

tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember.

Tim Penguji:

Ketua,

Anggota I,

Abduh Riski, S.Si., M.Si.
NIP. 199004062015041001

Dr. Alfian Futuhul Hadi, S.Si., M.Si.
NIP. 197407192000121001

Anggota II,

Anggota III,

Dr. Kiswara Agung Santoso, S.Si., M.Kom.
NIP. 197209071998031003

Dr. Agustina Pradjaningsih S.Si., M.Si.
NIP. 197108022000032009

Mengesahkan
Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Jember

Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D.
NIP. 195910091986021001

RINGKASAN

Modifikasi Jaringan *Backpropagation* dengan *Particle Swarm Optimization* untuk Peramalan Curah Hujan; oleh Anik Magfirotul Amalia, 161810101044, 2019, 55 halaman, Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Pemanasan global memiliki pengaruh yang besar dalam perubahan iklim yang berujung pada kejadian ekstrim. Salah satu tanda dalam perubahan iklim adalah curah hujan yang ekstrim. Curah hujan tersebut merupakan realita yang harus dihadapi dalam bentuk pencegahan dan persiapan kejadian ekstrim. Persiapan awal yang dilakukan adalah tersedianya informasi curah hujan saat ini dan masa yang akan datang.

Informasi yang berkaitan dengan masa yang akan datang hanya dapat diramalkan. Data peramalan curah hujan akan membentuk metode peramalan curah hujan dimana metode tersebut diperlukan untuk mendapatkan hasil yang memiliki tingkat akurasi peramalan dengan tingkat error data yang kecil. Metode yang digunakan untuk meramalkan cuaca yaitu *Backpropagation* dan *Particle Swarm Optimization* (BP-PSO).

Metode BP-PSO merupakan gabungan dua algoritma dimana PSO berada pada proses Pelatihan (*training*). Pelatihan pada BP ada tiga fase yaitu fase propagasi maju, fase propagasi mundur dan fase perubahan bobot. PSO memiliki peranan untuk mengganti fase propagasi mundur dan fase perubahan bobot. Dalam hal tersebut PSO mengoptimasi jaringan BP sehingga memperoleh bobot yang ideal. Optimasi tersebut dilakukan untuk memperoleh nilai error minimum. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh parameter algoritma BP-PSO dan perbandingan hasil parameter terbaik algoritma BP-PSO dan algoritma BP.

Data yang digunakan pada penelitian ini berasal dari BPS (Badan Pusat Statistika) kota Surabaya. Variabel yang diambil adalah temperatur, kelembaban, kecepatan dan curah hujan pada tahun januari 2006 sampai desember 2018. Data

dibagi menjadi tiga sebagai data *training*, *testing* dan peramalan. Neuron *input* berasal dari nilai temperatur, kelembaban, kecepatan dan curah hujan sedangkan neuron *output* adalah nilai curah hujan bulan selanjutnya.

Proses perhitungan algoritma BP-PSO dibantu dengan program simulasi yang dibuat menggunakan *software* MATLAB. Perhitungan ini untuk menentukan parameter algoritma terbaik dan simulasi peramalan. Berdasarkan hasil uji parameter algoritma didapat nilai parameter terbaik yaitu $c_1 = 1$; $c_2 = 2,5$; $NH = 20$ dan $JP = 20$.

Parameter algoritma terbaik digunakan sebagai *training* yang mendapatkan kemampuan mengenali pola data ramalan. Dalam proses *training* menghasilkan nilai MSE 0,0039962 pada BP-PSO dan 0,0042454 pada BP. Serta proses *testing* menghasilkan nilai MSE 0,092391 pada BP-PSO dan 0,11154 pada BP. Nilai MSE menunjukkan algoritma BP-PSO lebih kecil dari pada algoritma BP dalam *training* maupun *testing*. Sehingga algoritma BP-PSO lebih baik dari algoritma BP.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul “Modifikasi Jaringan *Backpropagation* dengan *Particle Swarm Optimization*”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada :

1. Abduh Riski, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Utama dan Dr. Alfian Futuhul Hadi, S.Si., M.Si. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, serta perhatian dalam penulisan skripsi ini.
2. Dr. Kiswara Agung Santoso, S.Si., M.Kom. dan Dr. Agustina Pradjaningsih S.Si., M.Si selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran demi perbaikan tugas akhir ini.
3. Seluruh staf pengajar Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember yang telah memberikan ilmu serta bimbingannya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Seluruh teman seperjuangan MISDIRECTION Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Jember yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
5. Seluruh dulur-dulur UKMS TITIK Fakultas MIPA Universitas Jember yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
6. Semua pihak yang telah memberikan sumbangan tenaga, semangat, dan pikiran yang tidak dapat disebutkan satu persatu oleh penulis.

Pihak juga menerima kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat

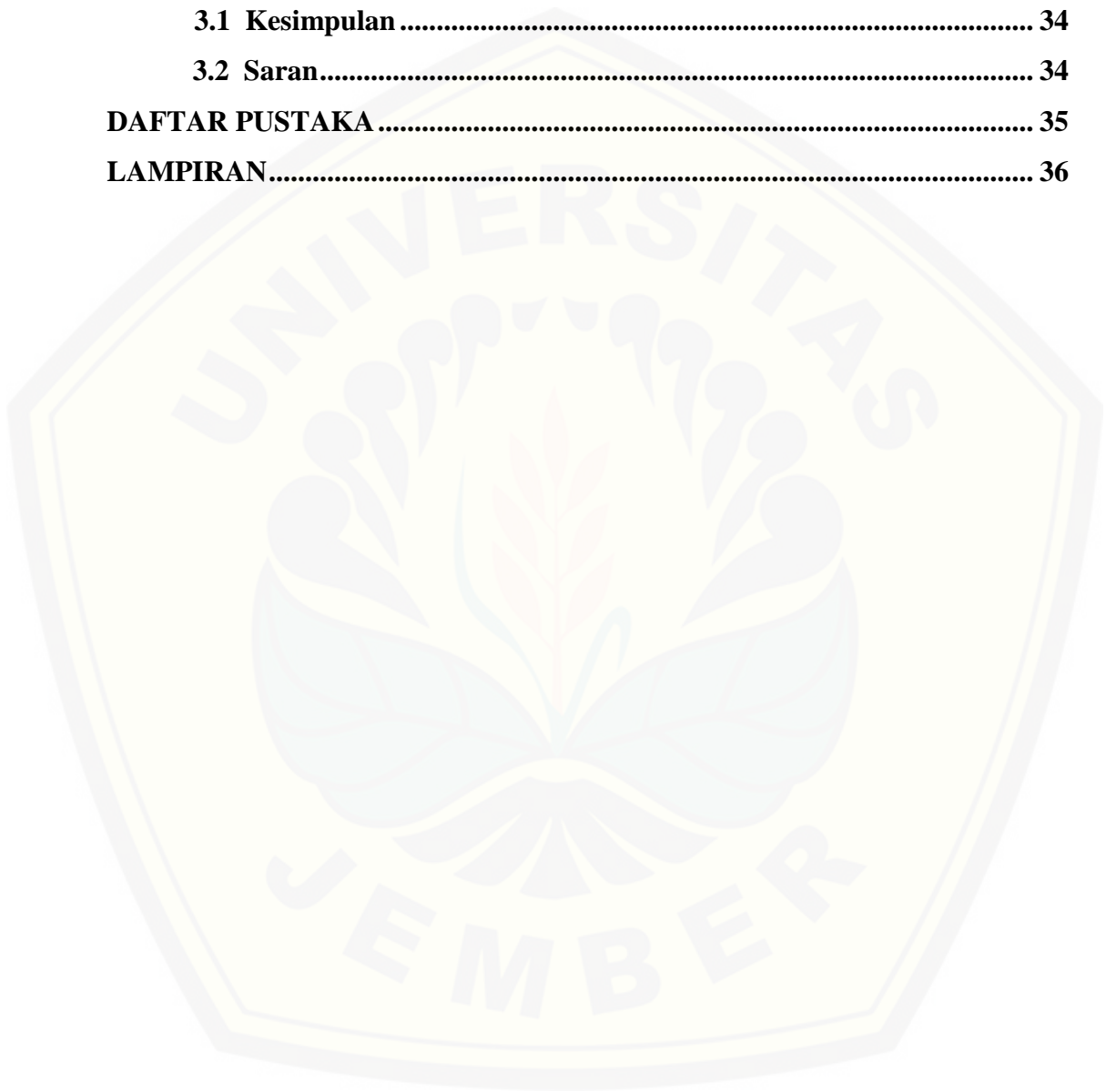
Jember, Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN SAMPUL.....	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN.....	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Cuaca.....	4
2.2 Jaringan Saraf Tiruan (JST) <i>Backpropagation</i>	6
2.3 <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO)	11
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	13
3.1 Data Penelitian	13
3.2 Langkah-langkah Penelitian	14
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	19
4.1 Hasil Penelitian.....	19
4.1.1 Pengolahan Data.....	19

4.1.2 Perhitungan Manual	20
4.1.3 Program Simulasi	26
4.2 Pembahasan	32
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	34
3.1 Kesimpulan	34
3.2 Saran	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	36



DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 4.1 Data <i>Training</i> Januari 2006 - November 2017	19
Tabel 4.2 Data <i>Testing</i> Desember 2017-November 2018.....	20
Tabel 4.3 Data Agustus 2017	21
Tabel 4.4 Inisialisasi Posisi Awal PSO	21
Tabel 4.5 Hasil Keluaran Fase <i>Feedforward</i>	23
Tabel 4.6 Nilai MSE Setiap Partikel	23
Tabel 4.7 Nilai Pbest Terbaik.....	24
Tabel 4.8 Nilai Kecepatan Awal	24
Tabel 4.9 Perbaharuan Kecepatan.....	25
Tabel 4.10 Perbaharuan Posisi	25
Tabel 4.11 Perbaharuan Posisi Interval [-1,5;1,5].....	26
Tabel 4.12 Nilai MSE Pelatihan BP.....	31

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Arsitektur <i>Backpropagation</i>	7
Gambar 2.2 Grafik fungsi aktivasi sigmoid biner.....	8
Gambar 2.3 a. <i>Flowchart</i> algoritma BP b. <i>Flowchart</i> Fase Propogasi maju c. <i>Flowchart</i> Fase Propagasi mundur	10
Gambar 2.4 <i>Flowchart</i> algoritma PSO	12
Gambar 3.1 Histogram Curah Hujan	13
Gambar 3.2 Histogram Kecepatan Rata-rata	13
Gambar 3.3 Histogram Rata-rata Temperature	14
Gambar 3.4 Histogram Rata-rata Kelembaban	14
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i> langkah-langkah penelitian.....	14
Gambar 3.6 a. <i>Flowchart</i> Algoritma BP-PSO b. <i>Flowchart</i> Pengujian Data	17
Gambar 4.1 Tampilan Program GUI BP-PSO	27
Gambar 4.2 Grafik Uji Parameter Neuron <i>Hidden</i>	28
Gambar 4.3 Grafik Uji Parameter Jumlah Partikel	29
Gambar 4.4 Grafik Uji Parameter (c_1, c_2)	29
Gambar 4.5 Grafik Uji Parameter Fungsi Aktivasi.....	30
Gambar 4.6 Grafik Hasil Pelatihan Data BP-PSO dan target	30
Gambar 4.7 Grafik Nilai MSE Setiap Epoch	30
Gambar 4.8 Grafik Pelatihan Data Hasil BP Dan Target.....	31
Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Data BP dan target.....	32
Gambar 4.10 Arsitektur BP-PSO	32

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran A. Data.....	36
A.1 Data Penelitian	36
A.2 Data penelitian normalisasi	40
Lampiran B. Kode Program	45
B.1 Algoritma PSO	45
B.2 Fungsi Fitness.....	48
B.3 JST <i>Feedforward</i>	48
B.4 <i>Backpropagation</i>	49
Lampiran C. Simulasi Program.....	50
C.1 Uji Parameter <i>Neuron hidden</i>	50
C.2 Uji Parameter Jumlah Partikel.....	50
C.3 Uji Parameter (c_1, c_2)	50
C.4 Uji Parameter Fungsi Aktivasi	50
Lampiran D Hasil dan Target Pelatihan Data Algoritma BP-PSO	52
Lampiran E. Hasil dan Target Pengujian Data.....	56
Lampiran E.1 Hasil dan Target Pengujian Data Algoritma BP	56
Lampiran E.2 Hasil dan Target Pengujian Data Algoritma BP-PSO.....	56

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanasan global memiliki peranan penting dalam perubahan iklim yang berujung pada kejadian ekstrim. Kejadian ekstrim yang sering terjadi di Indonesia adalah kekeringan dan bencana banjir. Bencana kekeringan menyebabkan kekurangan pasokan air di suatu daerah yang berkepanjangan dan terus menerus mengalami curah hujan dibawah rata-rata. Bencana banjir terjadi akibat intensitas curah hujan yang tinggi sehingga menimbulkan meluapnya sungai. Kedua kejadian ekstrim tersebut salah satunya dipengaruhi oleh tinggi rendahnya curah hujan. Meningkatnya kejadian ekstrim merupakan realita yang harus dihadapi oleh masyarakat sebagai bentuk pencegahan dan persiapan. Persiapan awal yang dapat dilakukan dengan menyediakan informasi curah hujan saat ini dan masa yang akan datang.

Informasi yang berkaitan dengan masa yang akan datang hanya dapat diramalkan atau diprediksi. Data peramalan curah hujan akan membentuk metode peramalan curah hujan dimana metode tersebut diperlukan untuk mendapatkan hasil yang memiliki tingkat akurasi peramalan dengan tingkat error data yang kecil. Metode yang digunakan untuk meramalkan cuaca yaitu *Backpropagation* dan *Particle Swarm Optimization* (BP-PSO).

Metode peramalan yang sering digunakan dalam Jaringan Saraf Tiruan (JST) yaitu *Backpropagation* (BP), hal ini dikarenakan metode BP memiliki kemampuan memecahkan masalah dengan baik dalam skala data yang luas serta mengenali pola-pola yang rumit. PSO menjadi salah satu algoritma yang dapat mengoptimalkan kecepatan konvergensi lebih cepat dari jaringan sehingga didapat solusi optimal untuk pemilihan bobot (Suhendra, 2015).

Penelitian menggunakan JST *Backpropagation* dan PSO telah dilakukan oleh Nikentari (2018) untuk memprediksi pasang surut air laut, dimana data yang digunakan berjumlah 1000 data yang dibagi menjadi dua yaitu 700 data *training* dan 300 data *learning*. Tingkat akurasi yang didapatkan sebesar 91.56%. Berdasarkan penelitian sebelumnya prediksi menggunakan metode PSO dan

Backpropagation menghasilkan prediksi sangat baik yakni 90%. Puspa (2016) melakukan penelitian mengenai peramalan harga komoditi karet spesifik teknis yang menghasilkan nilai error 0,043 dengan pengujian menggunakan *backpropagation* sedangkan menggunakan *backpropagation berbasis particle swarm optimization* lebih kecil yaitu 0.040.

Menurut Handayani (2015) yang melakukan peramalan curah hujan di kota Pekanbaru, akurasi klasifikasi peramalan mendapatkan akurasi yang bagus yaitu 96% dengan menggunakan data bulan januari (2013). Data yang digunakan sebanyak 344 data pada tahun 2013 yang memperoleh akurasi 99,99% dengan fungsi aktivasi logsig dan tansig 99,97%.

Berdasarkan hal yang telah disebutkan maka penulis tertarik menggunakan metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) dengan Jaringan Saraf Tiruan (JST) *Backpropagation* dalam meramalkan curah hujan di Kota Surabaya. Data yang digunakan dalam peramalan adalah kecepatan angin, temperatur, kelembaban dan curah hujan.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan:

- a. Bagaimana pengaruh parameter pada algoritma BP-PSO dalam peramalan curah hujan?
- b. Bagaimana perbandingan hasil parameter terbaik algoritma BP-PSO dan algoritma BP dalam penyelesaian peramalan curah hujan?

1.3 Tujuan

Berikut tujuan penelitian berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan:

- a. Mengetahui pengaruh parameter pada algoritma BP-PSO dalam peramalan curah hujan.
- b. Mengetahui hasil perbandingan hasil parameter terbaik algoritma BP-PSO dan algoritma BP dalam penyelesaian peramalan curah hujan.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini dapat digunakan oleh masyarakat maupun pemerintah dalam meramalkan curah hujan serta pengambilan keputusan yang tepat untuk masyarakat sebagai pencegahan dan persiapan kejadian ekstrem. Selain itu dapat digunakan sebagai referensi penelitian selanjutnya dengan permasalahan berbeda.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cuaca

Peristiwa fisik yang berlangsung di atmosfer pada saat dan tempat tertentu yang dinyatakan dalam berbagai unsur-unsur cuaca disebut cuaca. Unsur-unsur tersebut diamati setiap hari sehingga membentuk suatu data harian. Data bulanan yang terkumpul membentuk data bulanan dan data tahunan. Data tahunan yang terkumpul bertahun-tahun akan membentuk suatu pola yang bercirikan atmosfer yang disebut iklim. Data tersebut yang bersifat diskontinu terdiri dari lama penyinaran surya, pancaran surya, presipitasi, dan penguapan. Penyajian datanya berupa nilai akumulasi yang ditampilkan dalam grafik histogram, sedangkan data kontinu yang berupa kelembaban udara, suhu, dan tekanan udara disajikan dalam bentuk angka maupun rata-rata yang ditampilkan dalam bentuk grafik kurva (Universitas Hasanuddin, 2009). Berikut ini unsur-unsur dan pengendali cuaca :

a. Suhu Udara

Secara fisis suhu didefinisikan sebagai tingkat gerakan molekul benda dimana suhu yang makin tinggi memiliki gerakan yang makin cepat. Selain itu, suhu didefinisikan sebagai tingkat panas suatu benda yang bergerak dari benda yang suhunya tinggi menuju benda yang suhunya rendah. Penskala-an suhu ada empat macam yaitu, fahrenheit, reamur, celcius, dan kelvin. Skala suhu yang sering dipakai yaitu celcius di berbagai dunia, fahrenheit di Inggris dan Kelvin merupakan suhu mutlak.

Suhu udara merupakan data kontinu yang mana diambil setiap hari. Suhu udara harian rata-rata adalah rata-rata suhu yang diamati selama 24 jam. Suhu udara harian rata-rata didapatkan dari jumlah suhu maksimum dan suhu minimum yang dibagi menjadi dua. Suhu bulanan rata-rata ialah jumlah dari suhu harian rata-rata dibagi dengan jumlah hari di bulan tersebut. Suhu tahunan rata-rata adalah rata-rata dari jumlah suhu bulanan rata-rata dalam satu tahun dibagi dengan 365 hari atau 366 hari tergantung tahunnya.

b. Kelembaban

Kelembaban merupakan kadar uap air diudara yang dinyatakan dalam berbagai cara. Cara tersebut yaitu dengan menghitung tekanan uap, kelembaban mutlak, nisbi pencampuran, kelembaban spesifik, kelembaban nisbi, dan suhu virtual.

c. Tekanan udara

Tekanan bidang disebabkan oleh gaya yang bekerja pada luas bidang tersebut. Makin besar gaya maka makin besar tekanan bidang tersebut. Bagi tekanan udara berfungsi sebagai berat udara pada bidang tersebut sampai atmosfer. Sehingga tekanan udara berbeda pada setiap ketinggian dan lintang tempat tersebut. Pengaruh tekanan pada kehidupan sangat kecil dan sebaliknya tekanan berpengaruh terhadap angin.

d. Kecepatan Angin

Angin adalah gerak udara yang sejajar dengan permukaan bumi. Angin bergerak dari tempat yang bertekanan tinggi ketempat yang bertekanan rendah. Angin merupakan pengendali langsung dari penguapan, suhu, dan curah hujan dipermukaan bumi.

e. Penyinaran Matahari

Penyinaran matahari dibagi berdasarkan fungsinya yaitu intensitas surya, kualitas pancaran surya dan lama penyinaran matahari. Penyinaran surya ini sampai ke bumi menggunakan sifat radiasi. Dimana radiasi adalah perpindahan energi dari suatu tempat ke tempat lain menggunakan perantara maupun tanpa perantara. Pada siang hari suhu dan penguapan akan menurun. Sebaliknya pada malam hari akan terjadi kenaikan suhu dan pengembunan kecuali terdapat adanya hembusan angin dan efek rumah kaca sehingga pengembunan tidak terjadi (Tjasjono, 1999).

f. Curah hujan

Endapan yang didefinisikan sebagai bentuk air cair maupun padat yang jatuh ke permukaan bumi yang diukur dengan satuan tinggi milimeter (mm). Endapan ini yang disebut curah hujan. Curah hujan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu kelembaban udara, tekanan udara, kecepatan angin dan suhu udara. Jika

ditingkatkan kelembaban udara dan kecepatan angin maka curah hujan akan meningkat. Jika ditingkatkan suhu udara dan tekanan udara maka curah hujan akan berkurang (Pradipta, 2013).

g. Awan

Awan adalah kumpulan titik-titik air (padat atau cair) yang tampak dan melayang-layang di atmosfer sebab ukurannya relatif kecil dari pada curah hujan. Fungsi awan sebagai pemantul yang baik terhadap radiasi matahari dan penyerap terhadap radiasi bumi.

h. Penguapan atau Evaporasi

Evaporasi adalah laju penguapan dimana penguapan sendiri ialah perubahan fase dari cair menjadi uap air. Sehingga evaporasi diartikan sebagai laju hilangnya air dari permukaan air, tanah, tumbuhan (Tjasjono, 1999).

2.2 Jaringan Saraf Tiruan (JST) *Backpropagation*

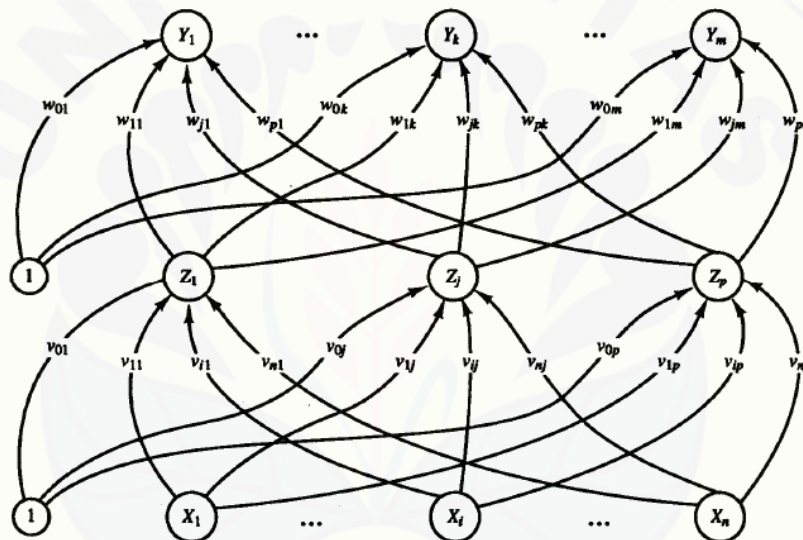
Jaringan saraf tiruan merupakan jaringan model matematis yang memiliki karakter mirip dengan jaringan saraf biologi. JST terdiri dari neuron buatan yang saling terhubung untuk memproses informasi. Kebanyakan jaringan ini digunakan untuk memodelkan hubungan yang kompleks antara *input* dan *output* atau menemukan suatu pola data.

Pemodelan jaringan dilakukan dengan menentukan pola hubungan antar sel-sel saraf buatan. Hubungan antar lapisan (*layer*) merupakan pola hubungan yang umum. Setiap lapisan terdiri dari sekumpulan neuron (*node/unit*) yang memiliki fungsi tertentu, misalnya fungsi masukan (*input*) atau fungsi keluaran (*output*). Dan setiap neuron terhubung dengan neuron lain melalui jaringan koneksi langsung dimana masing-masing neuron terhubung dengan bobot.

Metode yang sering digunakan yaitu *Backpropagation* (BP). BP adalah algoritma untuk memperkecil tingkat error dengan cara menyesuaikan bobotnya berdasarkan perbedaan *output* dan target yang diinginkan. Metode BP ini melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan mengenali pola selama proses pelatihan dan memberikan respon yang benar terhadap pola masukan (berbeda) dengan pola yang terbentuk selama pelatihan.

Jaringan ini merupakan jaringan *feedforward multi layer* yang dilatih oleh *Backpropagation*.

Pelatihan *Backpropagation* terdiri dari tiga fase yaitu fase propagasi maju (*feedforward*), fase propagasi mundur (*Backpropagation*) dan fase pembaharuan bobot. Prinsip dasar jaringan adalah memperbaiki bobot-bobot jaringan dengan arah yang membuat fungsi aktivasi menjadi turun cepat. Jaringan ini memiliki beberapa unit satu atau lebih layer *hidden*. Berikut ini arsitektur BP dengan n buah neuron input (ditambah satu bias) dan p neuron *hidden* (ditambah satu bias) serta m neuron output (Raharja dan Astra, 2018).

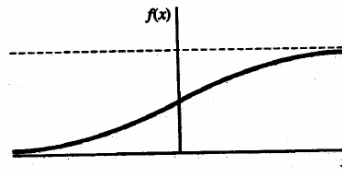


Gambar 2.1 Arsitektur *Backpropagation*

Algoritma BP memiliki kemampuan memecahkan masalah dalam dunia nyata dengan membangun metode terlatih yang menunjukkan kinerja baik dan mengatasi pengenalan pola-pola yang rumit. Namun, metode ini memiliki beberapa kelemahan yaitu:

- Waktu pelatihan lama dalam mencapai konvergen
- Overfitting* pada jaringan saraf tiruan (Nugraha dan Ahzari, 2014).

Fungsi aktivasi yang dipakai memiliki beberapa syarat yaitu kontinu, terdiferensiasi, dan secara monoton tidak menurun. Salah satu fungsi yang sesuai yaitu sigmoid biner. Berikut ini fungsi aktivasi sigmoid biner dan *plot* fungsi tersebut.



Gambar 2.2 Grafik fungsi sigmoid biner

$$f(x) = \frac{1}{(1+e^{-x})} \quad (2.1)$$

Fungsi sigmoid memiliki nilai maksimum satu sehingga jika ada data yang bernilai lebih besar dari satu maka harus dinormalisasikan terlebih dahulu. Berikut ini algoritma *Backpropagation* dengan fungsi aktivasi sigmoid biner dan satu layer tersembunyi (Handayani,2015). Berikut ini langkah-langkah algoritma backpropagation :

- a. Masukkan parameter backpropagation yaitu unit tersembunyi, maksimum epoch, target error dan data pelatihan.
- b. Inisialisasi bobot dan bias awal secara acak.
- c. Fase propagasi maju (*feedforward*)
 1. Tiap unit *input* menerima sinyal x_i ($i = 1,2,3,\dots,n$) dan meneruskannya ke lapisan yang di atasnya (lapisan tersembunyi).
 2. Tiap unit tersembunyi menjumlah sinyal-sinyal *input* terbobot dan gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung *output*nya:

$$z_in_j = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij} \quad (2.2)$$

$$z_j = f(z_in_j) \quad (2.3)$$

Setelah dihitung fungsi aktivasi lanjutkan ke semua unit di lapisan atasnya (unit *output*).

3. Tiap unit *output* ($y_k, k = 1,2,3,\dots,m$) menjumlahkan sinyal-sinyal *input* terbobot dan gunakan fungsi aktivasi untuk menghitung sinyal *output*nya.

$$y_in_k = w_{0k} + \sum_{j=1}^p z_j w_{jk} \quad (2.4)$$

$$y_k = f(y_in_k) \quad (2.5)$$

x_i : sinyal lapisan masukan ke- i

v_{ij} : bobot lapisan masukan- i ke lapisan tersembunyi- j

z_in_j : penjumlahan v_{ij} dengan lapisan masukan- i

- z_j : fungsi aktivasi dari z_inj
 y_k : sinyal lapisan keluaran ke- k
 y_in_k : penjumlahan w_{jk} dan z_j
 w_{jk} : bobot lapisan tersembunyi- j ke lapisan keluaran- k
 y_k : fungsi aktivasi dari y_ink

d. Fase propagasi mundur (*Backpropagation*)

1. Tiap unit *output* menerima target pola yang berhubungan dengan pola *input* pembelajaran, hitung informasi *error*:

$$\delta_k = (t_k - y_k) f'(y_ink) \quad (2.6)$$

Kemudian hitung koreksi bobot yang akan digunakan untuk memperbaiki bobot:

$$\Delta w_{jk} = \alpha \delta_k z_j \quad (2.7)$$

Hitung koreksi bias:

$$\Delta w_{0k} = \alpha \delta_k \quad (2.8)$$

2. Tiap unit tersembunyi menjumlahkan delta *input*-nya:

$$\delta_inj = \sum_{k=1}^m \delta_k w_{jk} \quad (2.9)$$

δ_inj : nilai *error* untuk mencari bobot baru unit input ke unit *hidden*.

Kalikan nilai diatas dengan turunan dari fungsi aktivasi untuk menghitung informasi *error*:

$$\delta_j = \delta_inj f'(z_inj) \quad (2.10)$$

Kemudian hitung koreksi bobot yang nantinya digunakan bobot v_{ij} berikut ini:

$$\Delta v_{jk} = \alpha \delta_j x_j \quad (2.11)$$

Hitung juga koreksi bias sebagai perbaikan v_{0j} :

$$\Delta v_{0j} = \alpha \delta_j \quad (2.12)$$

- δ_k : nilai error
 t_k : nilai target ke- k
 Δw_{jk} : koreksi bobot lapisan tersembunyi dan lapisan keluaran

- α : learning rate
- δ_{inj} : penjumlahan nilai error dengan w_{jk}
- Δv_{jk} : koreksi bobot lapisan masukan dan lapisan tersembunyi

e. Perubahan bobot

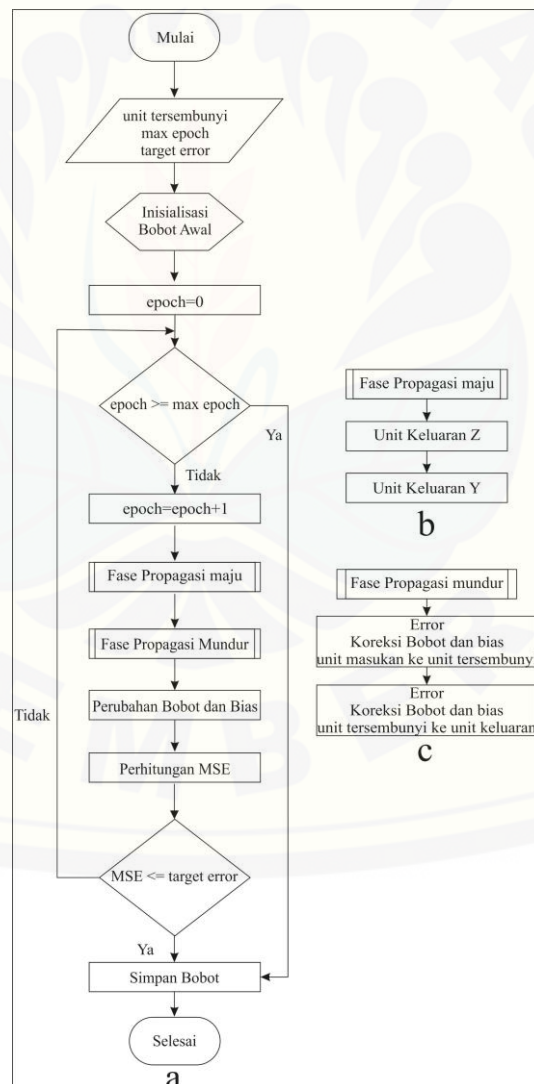
Tiap unit *output* dan unit tersembunyi memperbaiki bias dan bobotnya :

$$w_{jk}(\text{baru}) = w_{jk}(\text{lama}) + \Delta w_{jk}$$

$$v_{ij}(\text{baru}) = v_{ij}(\text{lama}) + v$$

f. Menghitung nilai error menggunakan MSE.

Berikut ini *flowchart* dari algoritma *backpropagation*:



Gambar 2.3 a. *Flowchart* algoritma BP b. *Flowchart* Fase Propogasi maju
c. *Flowchart* Fase Propagasi mundur

2.3 Particle Swarm Optimization (PSO)

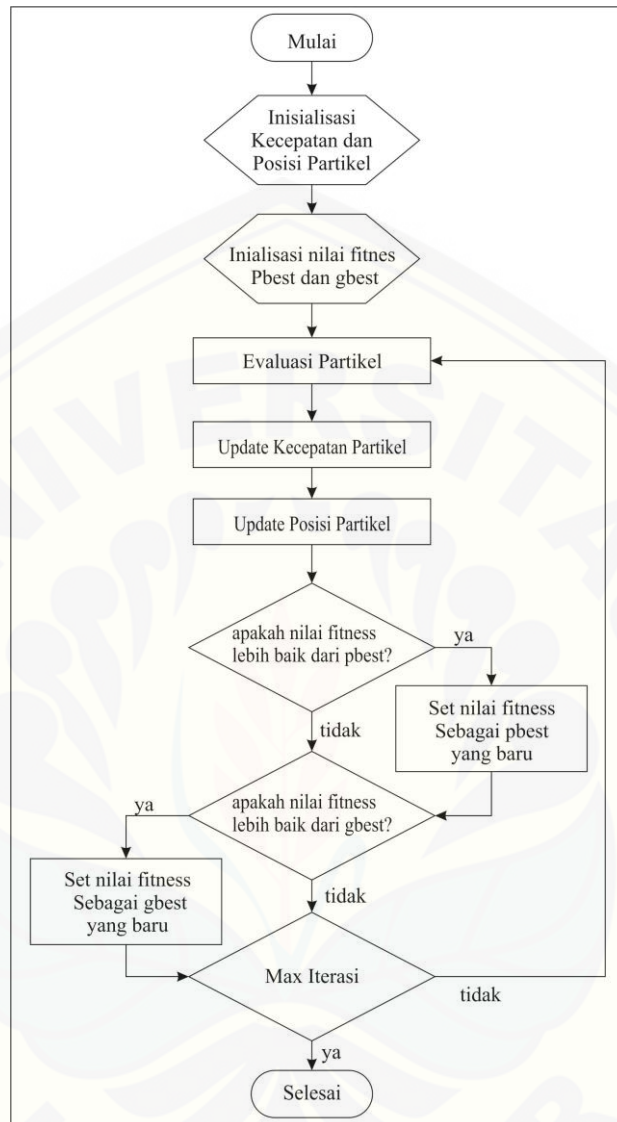
Algoritma *Particle Swarm Optimization* atau disebut PSO merupakan algoritma yang mensimulasikan perilaku burung berkelompok. Misalkan terdapat sekelompok burung yang secara acak mencari makanan disuatu tempat. Jika seekor burung menemukan jalan yang tepat (terbaik dengan jarak dan kecepatan) maka sisa kelompok burung tersebut akan mengikuti jalan tersebut.

Kawanan burung didalam PSO diasumsikan sebagai sesuatu dengan mempunyai ukuran tertentu dengan setiap partikel (seekor burung) memiliki posisi awal yang acak. Asumsi yang dimiliki partikel ada dua karakteristik yaitu posisi dan kecepatan. Posisi yang terbaik akan membuat setiap partikel bergerak dalam ruang berdasarkan informasi tersebut. Pada PSO belajar mengenai pemecahan masalah optimasi. Dimana pencarian solusi masalah tersebut dilakukan oleh suatu populasi yang terdiri dari beberapa partikel (fariza, 2011).

Setiap partikel menunjukkan posisi atau solusi dari permasalahannya. Setiap partikel melakukan pencarian solusi yang optimal dengan melintasi ruang pencarian. Hal ini dilakukan dengan penyesuaian terhadap posisi partikel terbaik dari partikel tersebut dan penyesuaian terhadap posisi partikel terbaik dari seluruh kawanan selama mencari diruang tersebut. Sehingga penyebaran informasi terjadi pada partikel itu sendiri dan antar partikel dengan yang terbaik dalam seluruh kawanan. Berikut ini keuntungan Algoritma PSO:

- a. PSO berdasarkan kecerdasan dimana dapat diterangkan melalui kedua penggunaan dalam bidang teknik dan riset ilmiah.
- b. Perhitungan algoritma sangat sederhana yaitu menggunakan optimisasi yang lebih besar dan diselesaikan dengan mudah (Lubis, 2017).

Berikut ini *flowchart* dari algoritma PSO:

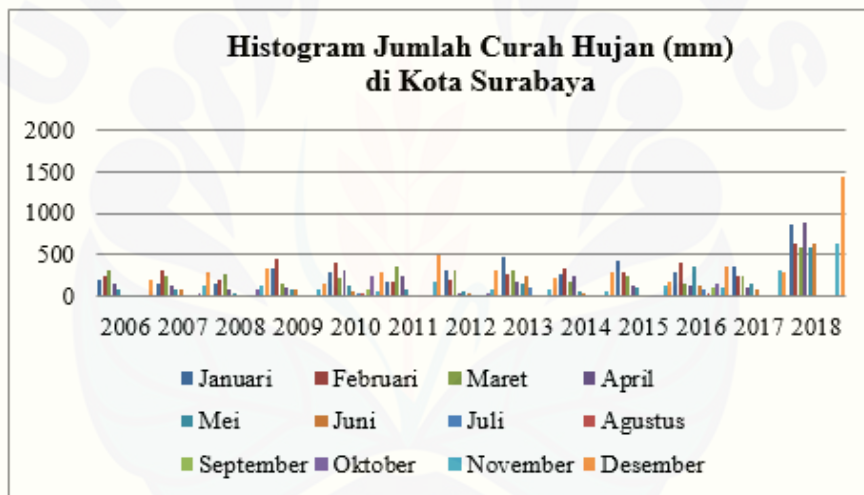


Gambar 2.4 *Flowchart* algoritma PSO

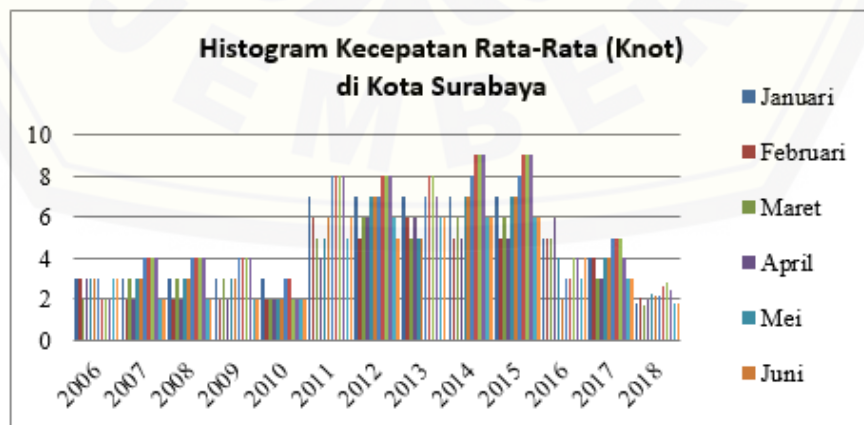
BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Data Penelitian

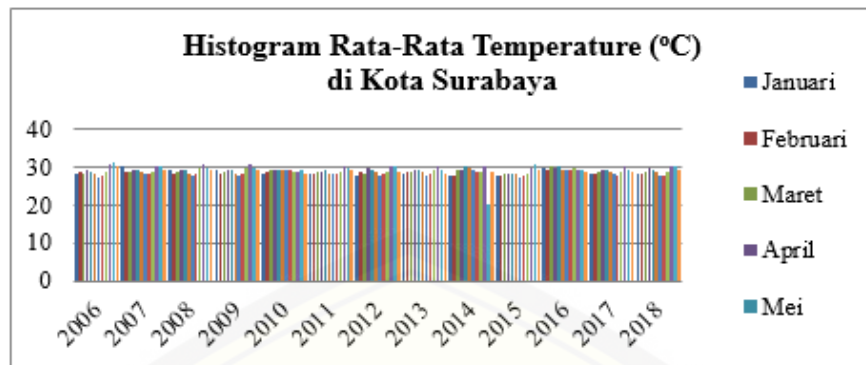
Pengumpulan data dalam penelitian ini diambil dari BPS (Badan Pusat Statistik) Kota Surabaya. Variabel data yang diambil ada empat yaitu kecepatan rata-rata, rata-rata temperatur, rata-rata kelembaban udara dan curah hujan per bulan. Data dibagi menjadi dua sebagai data *training* (pelatihan) dan data *testing* (pengujian). Data *training* diambil dari bulan Januari 2006 sampai November 2017 sedangkan data *testing* diambil dari bulan Desember 2017 sampai November 2018. Berikut ini histogram curah hujan, kecepatan rata-rata, rata-rata temperature dan rata-rata kelembaban udara:



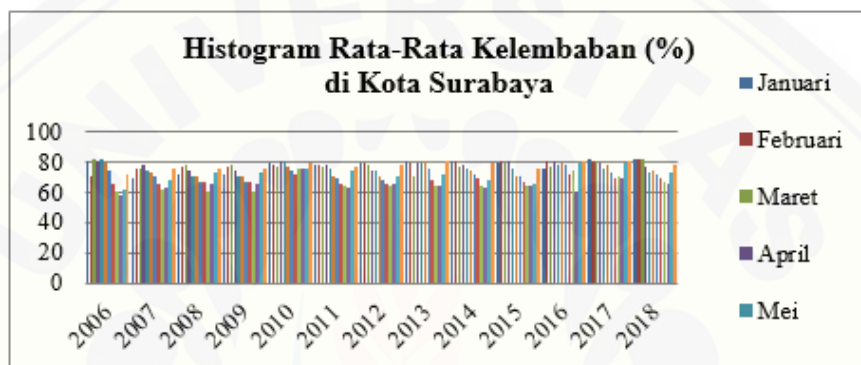
Gambar 3.1 Histogram Curah Hujan



Gambar 3.2 Histogram Kecepatan Rata-rata



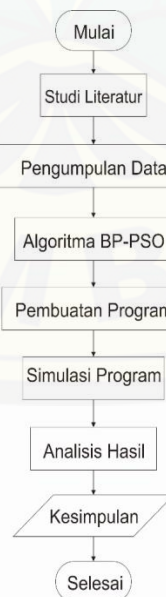
Gambar 3.3 Histogram Rata-rata Temperature



Gambar 3.4 Histogram Rata-rata Kelembaban

3.2 Langkah-Langkah Penelitian

Berikut *flowchart* langkah-langkah yang akan dilakukan pada penelitian ini:

Gambar 3.5 *flowchart* langkah-langkah penelitian

Flowchart diatas diuraikan sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Langkah ini merupakan langkah awal yang akan dilakukan untuk mengumpulkan refrensi mengenai penggunaan jaringan saraf tiruan *Backpropagation* dengan *Particle Swarm Optimization* (PSO). Refrensi tersebut berupa hubungan antar variabel pada cuaca atau unsur-unsur cuaca. Refrensi lain berupa jaringan saraf tiruan terutama mengenai *Backpropagation* (BP) dan *Particle Swarm Optimization* (PSO).

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan dan pengidentifikasi data yang diambil dari Badan Pusat Statistik kota Surabaya.

c. Penerapan Algoritma

Langkah selanjutnya adalah perancangan sistem sebagai penerapan algoritma BP dan PSO. Langkah ini berisi langkah kerja dari sistem secara menyeluruh sebagai kemudahan dalam mengimplementasi dan pengujian sistem. Berdasarkan diagram alir berikut ini dan penjelasan mengenai diagram tersebut.

1. Masukkan data, parameter JST dan parameter PSO. Paramater ini berupa *neuron hidden* (NH), Maksimum epoch, jumlah partikel (JP), c_1 , c_2 dan fungsi aktivasi.
2. Proses normalisasi data *training* dan data *testing*. Normalisasi data yaitu penskalaan nilai atribut data menjadi *range* tertentu. Pada data ini ditransformasi menjadi interval [0,1].

$$\text{data normalisasi} = \frac{\text{data yang akan dinormalisasi} - \text{data terkecil}}{\text{data terbesar} - \text{data terkecil}} \quad (3.1)$$

3. Inisialisasi posisi dan kecepatan awal PSO yang ditentukan secara acak (*random*) dengan *range* antara -1,5 sampai 1,5. Posisi adalah nilai bobot dan bias sementara kecepatan adalah nilai yang mempengaruhi perubahan posisi pada setiap epoch (bobot baru) pada *neuron hidden* dan *neuron ouput*.
4. Inisialisasi nilai Pbest(Local Best) dan Gbest(GlobalBest).

5. Pelatihan menggunakan BP di dalam fase propagasi maju.
6. Melakukan perhitungan nilai fitness sebagai penanda seberapa optimal solusi yang diperoleh. Nilai fungsi *fitness* mempresentasikan nilai *error* (MSE) pada bobot jaringan.
7. *Update* Gbest dan Pbest, Pbest didapatkan dari perbandingan nilai *fitness* setiap partikel. Sedangkan Gbest didapatkan dari nilai *fitness* terkecil dari keseluruhan epoch.
8. Penentuan bobot inertia diperoleh dari jumlah 0,1 dan perkalian 0,4 dengan bilangan acak.
9. Memperbarui kecepatan dan posisi menggunakan persamaan berikut ini:

$$V_j^{K+1} = WV_j^K + c_1 rand_1 \times (Pbest_j - X_j^K) + \dots \\ c_2 rand_2 \times (Gbest_j - X_j^K) \quad (3.2)$$

$$X_j^{K+1} = X_j^K + V_j^{K+1} \quad (3.3)$$

V_j^K : kecepatan posisi ke-J pada iterasi ke-K

c_1 : nilai koefisien akselerasi ke-1

c_2 : nilai koefisien akselerasi ke-2

rand : nilai bilangan acak [0,1]

X_j^K : posisi dimensi ke-J pada iterasi ke-K

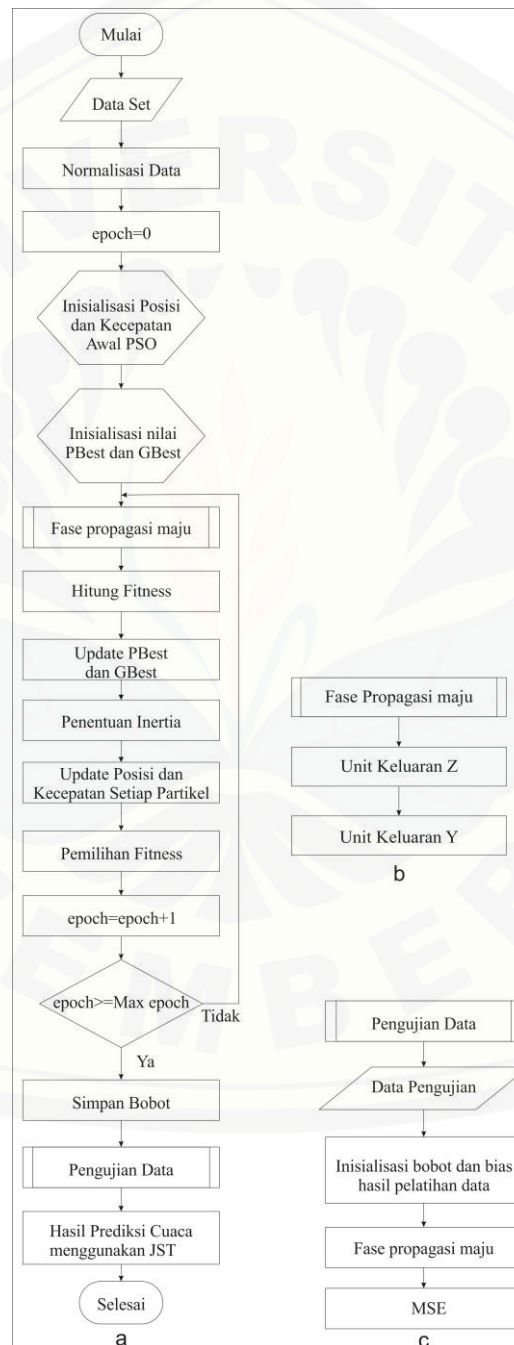
$Pbest_j$: nilai Pbest dari dimensi ke-J

$Gbest_j$: nilai Gbest dari dimensi ke-J

10. Pemilihan *fitness* merupakan pemilihan *fitness* terkecil dengan posisi *fitness* tersebut.
11. Diperoleh bobot dengan nilai fitness terkecil dengan kata lain merupakan nilai Gbest yang akan digunakan untuk menguji data *testing*.
12. Pengujian data testing melibatkan bobot, nilai parameter yang digunakan pada pelatihan data beserta fase propagasi maju.
13. Peramalan melibatkan bobot, nilai parameter yang digunakan pada pengujian data beserta fase propagasi maju. Hasil peramalan harus di

denormalisasi sehingga dapat menyatakan nilai curah hujan. Berikut rumus Denormalisasi:

$$\text{data denormalisasi} = \text{hasil prediksi} \times (\text{data terbesar} - \text{data terkecil}) + \text{data terkecil} \quad (3.4)$$



Gambar 3.6 Flowchart a. Algoritma BP-PSO b. Fase Propagasi Maju c. Pengujian Data

d. Pembuatan Program

Prediksi cuaca menggunakan kedua algoritma BP dan PSO sebagai alat bantu yang dibuat dalam bentuk *Graphical User Interface* (GUI) menggunakan *software* Matlab.

e. Simulasi Program

Proses simulasi diawali dengan menguji parameter dari algoritma BP dan PSO. Parameter yang akan diuji terdiri dari banyaknya *epoch*, Jumlah partikel, C_1, C_2 , fungsi aktivasi dan unit tersembunyi. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan MSE (*Mean Squared Error*) terkecil.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i|^2 \quad (3.5)$$

n : jumlah data

f_i : hasil peramalan

y_i : nilai sebenarnya

f. Analisis Hasil

Hasil algoritma BP-PSO akan dibandingkan dengan algoritma BP untuk mengetahui hasil algoritma. Selain itu hasil dapat menemukan parameter yang baik untuk mengolah data tersebut sehingga menghasilkan prediksi yang lebih akurat.

g. Kesimpulan

Langkah terakhir, hasil analisis akan ditarik kesimpulan dari penelitian penerapan algoritma BP-PSO pada prediksi cuaca.

BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab kali ini menguraikan mengenai hasil dan pembahasan penelitian. Hasil penelitian dimulai dengan penjelasan tentang pengolahan data, dilanjutkan perhitungan manual, program simulasi serta hasil simulasi. Bagian pembahasan menjelaskan mengenai pengaruh parameter berserta perbandingan algoritma BP dan BP-PSO serta hasil ramalan.

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pengolahan Data

Data yang digunakan untuk penelitian adalah data BPS (Badan Pusat Statistika). Variabel data yang diambil ada empat yaitu curah hujan, rata-rata kelembaban, rata-rata temperatur dan kecepatan rata-rata. Data telah disajikan pada Gambar 3.1, Gambar 3.2, Gambar 3.3, Gambar 3.4 berupa histogram dimana terdapat data curah hujan tidak stabil, kadang naik dan kadang turun pada tiap tahunnya. Data curah hujan tertinggi terjadi pada bulan desember 2018. Sedangkan data rata-rata temperatur dan rata-rata kelembaban memiliki rentang data yang cukup stabil. Data kecepatan rata-rata memiliki rentang data yang naik turun. Variabel data secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran A.1.

Data *training* diambil dari bulan januari 2006 sampai november 2017 sedangkan data *testing* diambil dari bulan desember 2017 sampai november 2018. Data *input* berupa rata-rata temperatur, rata-rata kelembaban, kecepatan rata-rata dan curah hujan sedangkan data target berupa curah hujan. Berikut ini data *input* dan target yang digunakan:

Tabel 4.1 Data *Training* Januari 2006 - November 2017

No	<i>Input</i>	Target
1	Januari 2006	Februari 2006
2	Februari 2006	Maret 2006
3	Maret 2006	April 2006
4	April 2006	Mei 2006
5	Mei 2006	Juni 2006
6	Juni 2006	Juli 2006

No	<i>Input</i>	Target
7	Juli 2006	Agustus 2006
8	Agustus 2006	September 2006
9	September 2006	Oktober 2006
10	Oktober 2006	November 2006
11	November 2006	Desember 2006
12	Desember 2006	Januari 2007
.	.	.
.	.	.
.	.	.
143	November 2017	Desember 2017

Tabel 4.2 Data *Testing* Desember 2017-November 2018

No	<i>Input</i>	Target
1	Desember 2017	Januari 2018
2	Januari 2018	Februari 2018
3	Februari 2018	Maret 2018
4	Maret 2018	April 2018
5	April 2018	Mei 2018
6	Mei 2018	Juni 2018
7	Juni 2018	Juli 2018
8	Juli 2018	Agustus 2018
9	Agustus 2018	September 2018
10	September 2018	Oktober 2018
11	Oktober 2018	November 2018
12	November 2018	Desember 2018

Data yang digunakan dalam pelatihan dan pengujian dinormalisasi dan disajikan pada Lampiran A.2.

4.1.2 Perhitungan Manual

Perhitungan manual digunakan sebagai Gambaran untuk menunjukkan dan memberikan pemahaman bagaimana proses perhitungan BP-PSO yang dilakukan dengan 4 *input* neuron dan 1 *output* neuron. Algoritma ini menggunakan $c_1 = 1$; $c_2 = 2,5$; $NH = 2$; $JP = 3$ dan fungsi aktivasi yang dipakai sigmoid biner dan purelin. Berikut langkah-langkah algoritma BP-PSO:

- a. Data *input* merupakan rata-rata Kelembaban (x_1), rata-rata temperatur (x_2), kecepatan rata-rata (x_3), dan curah hujan (x_4). Data target merupakan data curah hujan bulan selanjutnya (t). Nilai normalisasi data didapat dari perhitungan nilai minimum dan maksimum pada setiap data yang dapat dilihat pada Lampiran A.1. Persamaan 3.1 adalah persamaan yang digunakan sebagai normalisasi. Berikut data yang digunakan dan normalisasi data tersebut.

Tabel 4.3 Data Agustus 2017

	Data Asli	Data Normalisasi
x_1	69	0,458333
x_2	27,9	0,684685
x_3	5	0,452055
x_4	0	0
t	11,3	0,007856

- b. Inisialisasi posisi awal PSO yang ditentukan secara acak dalam $[-1,5;1,5]$ dan setiap partikel memiliki dimensi 13. Berikut hasil inisialisasi posisi dan berdasarkan jumlah partikel.

Tabel 4.4 Inisialisasi Posisi Awal PSO

Partikel 1	Partikel 2	Partikel 3
1,2401	-0,2347	-0,9864
0,3971	1,2472	0,6181
-1,2074	0,8766	-1,4045
-0,6645	1,3785	-0,6692
0,1406	0,4672	-1,3615
1,3725	-1,3929	-1,2086
1,3947	1,0474	0,9704
-1,0272	1,3020	0,5845
1,4118	0,5362	-0,5487
1,3715	0,7732	1,3507
-0,0439	0,7294	-1,3967
0,9008	-0,3233	-0,1838
-0,0439	0,4664	-0,3553

c. Perhitungan fitness menggunakan fase *feedforward* dan persamaan yang digunakan yaitu persamaan 2.2, 2.3, 2.4, dan 2.5. Posisi setiap partikel dijadikan bobot dan bias. Berikut perhitungan partikel pertama.

1. Nilai bobot (v_{ij}) didapat pada dimensi partikel 1 yaitu

$$1,2401 \quad 0,3971 \quad -1,2074 \quad -0,6645$$

$$0,1406 \quad 1,3725 \quad 1,3947 \quad -1,0272$$

2. Nilai bias (v_{0j}) didapat pada dimensi partikel 1 yaitu

$$1,4118 \quad 1,3715$$

3. Nilai bobot (w_{jk}) didapat pada dimensi partikel 1 yaitu

$$-0,0439$$

$$0,9008$$

4. Nilai bias (w_{0k}) didapat pada dimensi partikel 1 yaitu

$$-0,0439$$

5. Langkah selanjutnya menggunakan persamaan 2.2 dan 2.1 untuk mendapatkan nilai unit *hidden*.

$$z_{in_j} = v_{0j} + \sum_{i=1}^n x_i v_{ij}$$

$$z_{in_1} = v_{01} + x_1 v_{11} + x_i v_{21} + x_i v_{31} + x_i v_{41}$$

$$= 1,4118 + 1,2401 \times 0,45833 + 0,3971 \times 0,684685 + (-1,2074) \times 0,452055 + (-0,6645) \times 0 = 1,7063$$

$$z_{in_2} = v_{02} + x_1 v_{12} + x_i v_{22} + x_i v_{32} + x_i v_{42}$$

$$= 1,3715 + 0,1406 \times 0,45833 + 1,3725 \times 0,684685 + 1,3947 \times 0,452055 + (-1,0272) \times 0 = 3,0062$$

$$z_j = f(z_{in_j})$$

$$z_1 = \frac{1}{(1+e^{-z_{in_1}})} = \frac{1}{(1+e^{-1,7063})} = 0,8464$$

$$z_2 = \frac{1}{(1+e^{-z_{in_2}})} = \frac{1}{(1+e^{-3,0062})} = 0,9529$$

6. Langkah terakhir dari fase *feedforward* adalah mencari hasil keluaran atau *output* dengan persamaan 2.4 dan 2.5 yang menggunakan fungsi aktivasi purelin.

$$y_{in_k} = w_{0k} + \sum_{j=1}^p z_j w_{jk}$$

$$y_{in_1} = w_{01} + w_{11}z_1 + w_{21}z_2$$

$$y_{in_1} = -0,0439 + 0,8464 \times (-0,0439) + 0,9529 \times 0,9008 = 0,7773$$

$$y_k = f(y_{in_k})$$

$$y_k = y_{in_k}$$

$$y_1 = y_{in_1} = 0,7773$$

Dari perhitungan yang telah dilakukan didapatkan hasil keluaran (*output*) sebesar **0,7773**.

7. Partikel kedua dan ketiga mengikuti langkah 1-6 sehingga didapatkan nilai *output*:

Tabel 4.5 Hasil Keluaran Fase *Feedforward*

Partikel 1	Partikel 2	Partikel 3
0,7773	0,8793	-0.7828

8. Cari nilai fitness dengan persamaan 3.5 yaitu mencari error (MSE).

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |f_i - y_i|^2$$

$$MSE = \frac{1}{4} |0,7773 - 0,007856|^2 = 0,1480$$

Berikut nilai MSE setiap partikel:

Tabel 4.6 Nilai MSE Setiap Partikel

Partikel 1	Partikel 2	Partikel 3
0,1480	0,1899	0,1563

- d. *Update global best* (Gbest) dan *local best* (Pbest), Jika Pbest awal=0 dan Gbest awal=0. Nilai Pbest didapat dari nilai fitness terkecil pada setiap partikel dan nilai Gbest didapat dari nilai fitness terkecil setiap epoch. Sehingga nilai Pbest berada pada semua partikel 1, 2, dan 3 serta nilai Gbest berada di partikel 1 sebab memiliki nilai fitness terkecil.

Tabel 4.7 Nilai Pbest Terbaik

Pbest Partikel 1	Pbest Partikel 2	Pbest Partikel 3
1,2401	-0,2347	-0,9864
0,3971	1,2472	0,6181
-1,2074	0,8766	-1,4045
-0,6645	1,3785	-0,6692
0,1406	0,4672	-1,3615
1,3725	-1,3929	-1,2086
1,3947	1,0474	0,9704
-1,0272	1,3020	0,5845
1,4118	0,5362	-0,5487
1,3715	0,7732	1,3507
-0,0439	0,7294	-1,3967
0,9008	-0,3233	-0,1838
-0,0439	0,4664	-0,3553

- e. Penentuan bobot inerti pada epoch pertama yaitu 0,4062 dan epoch selanjutnya akan berganti sesuai dengan metode penelitian yang telah disebutkan pada bab sebelumnya.
- f. Memperbarui kecepatan dan posisi partikel menggunakan persamaan 3.2 dan 3.3. Kecepatan awal didapat dengan perkalian 0,1 sesuai dengan jumlah partikel dan posisinya. Tabel 4.9 dan 4.10 menunjukkan nilai perbaharuan kecepatan dan posisi. Berikut Tabel 4.8 kecepatan awal dan salah satu perhitungan mencari kecepatan dan posisi pada dimensi pertama.

Tabel 4.8 Nilai Kecepatan Awal

Kecepatan Partikel 1	Kecepatan Partikel 2	Kecepatan Partikel 3
0,12401	-0,02347	-0,09864
0,03971	0,12472	0,06181
-0,12074	0,08766	-0,14045
-0,06645	0,13785	-0,06692
0,01406	0,04672	-0,13615
0,13725	-0,13929	-0,12086
0,13947	0,10474	0,09704
-0,10272	0,13020	0,05845
0,14118	0,05362	-0,05487
0,13715	0,07732	0,13507

Kecepatan Partikel 1	Kecepatan Partikel 2	Kecepatan Partikel 3
-0,00439	0,07294	-0,13967
0,09008	-0,03233	-0,01838
-0,00439	0,04664	-0,03553

$$V_j^{K+1} = WV_j^K + C_1 rand_1 \times (Pbest_j - X_j^K) + C_2 rand_2 \times (Gbest_j - X_j^K)$$

$$V_1^2 = WV_1^1 + C_1 rand_1 \times (Pbest_1 - X_1^1) + C_2 rand_2 \times (Gbest_1 - X_1^1)$$

$$V_1^1 = 0,4062 \times 0,12401 + 1 \times rand_1 \times (1,2401 - 1,2401) + 2,5 \times rand_2 \times (1,2401) = 0,0504$$

$$X_j^{K+1} = X_j^K + V_j^{K+1}$$

$$X_1^2 = X_1^1 + V_1^2 = 1,2401 + 0,0504 = 1,2095$$

Tabel 4.9 Perbaharuan Kecepatan

Kecepatan Partikel 1	Kecepatan Partikel 2	Kecepatan Partikel 3
0,0504	3,7504	3,0968
0,0161	-2,3922	-0,3170
-0,0490	-5,5689	0,4716
-0,0270	-4,8499	-0,0242
0,0057	-0,3288	1,8102
0,0558	3,4903	4,8702
0,0567	0,6515	0,3723
-0,0417	-1,7305	-2,0305
0,0573	1,2745	6,2888
0,0557	1,6918	0,1002
-0,0018	-0,8267	1,9766
0,0366	4,6466	3,0420
-0,0018	-0,4587	0,4093

Tabel 4.10 Perbaharuan Posisi

Posisi Partikel 1	Posisi Partikel 2	Posisi Partikel 3
1,2905	3,5157	2,1104
0,4132	-1,1450	0,3011
-1,2564	-4,6923	-0,9329
-0,6915	-3,4714	-0,6934
0,1463	0,1384	0,4487
1,4283	2,0974	3,6616
1,4514	1,6989	1,3427

-1,0689	-0,4285	-1,4460
Posisi Partikel 1	Posisi Partikel 2	Posisi Partikel 3
1,4691	1,8107	5,7401
1,4272	2,4650	1,4509
-0,0457	-0,0973	0,5799
0,9374	4,3233	2,8582
-0,0457	0,0077	0,0540

Posisi partikel sesuai dengan metode penelitian harusnya berada didalam interval $[-1,5;1,5]$. Sehingga nilai posisi yang tidak berada di dalam interval harus diubah terlebih dahulu. Jika nilai posisi melebihi 1,5 maka nilai posisi diganti 1,5 dan jika nilai posisi kurang dari -1,5 maka nilai posisi diganti -1,5.

Tabel 4.11 Perbaharuan Posisi Interval $[-1,5;1,5]$

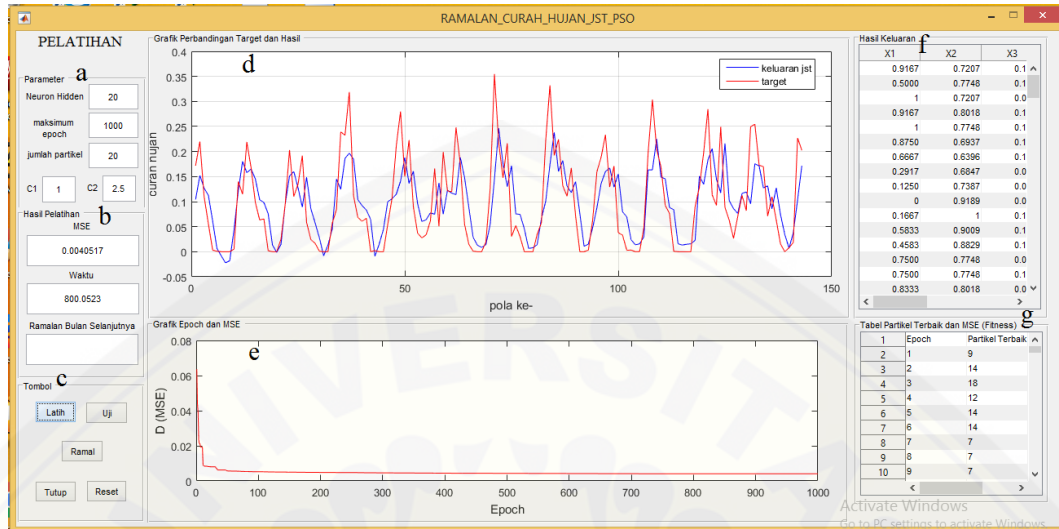
Posisi Partikel 1	Posisi Partikel 2	Posisi Partikel 3
1,2905	1,500	1,500
0,4132	-1,1450	0,3011
-1,2564	-1,500	-1,500
-0,6915	-1,500	-1,500
0,1463	0,1384	0,4487
1,4283	1,500	1,500
1,4514	1,500	1,3427
-1,0689	-0,4285	-1,4460
1,4691	1,500	1,500
1,4272	1,500	1,4509
-0,0457	-0,0973	0,5799
0,9374	1,500	1,500
-0,0457	0,0077	0,0540

- g. Langkah selanjutnya kembali pada langkah c sampai langkah f dan berhenti setelah memenuhi syarat epoch tertinggi.

4.1.3 Program Simulasi

Program yang dibuat dalam simulasi algoritma BP-PSO menggunakan software MATLAB dalam bentuk GUI (*Graphical User Interface*). Program tersebut digunakan untuk membantu pengujian parameter BP-PSO dan kode

program disajikan pada Lampiran B. Berikut Gambar 4.1 tampilan program yang telah dibuat.



Gambar 4.1 Tampilan Program GUI BP-PSO

Program GUI algoritma BP-PSO pada Gambar 4.1 dibagi menjadi tujuh bagian yaitu:

- Parameter, berisi mengenai nilai-nilai parameter dari algoritma BP-PSO.
- Hasil Pelatihan, digunakan untuk mengisikan hasil algoritma BP-PSO berupa error (MSE), waktu yang digunakan selama program dijalankan dan ramalan selanjutnya.
- Tombol, untuk memulai proses perhitungan algoritma BP-PSO.
- Axis1, untuk menampilkan grafik perbandingan target dan hasil dari pelatihan dan pengujian algoritma BP-PSO.
- Axis2, untuk menampilkan grafik error (MSE) berdasarkan epoch.
- Tabel Keluaran, berisi mengenai hasil yang diperoleh algoritma BP-PSO beserta error masing-masing.
- Tabel Partikel Terbaik dan MSE, untuk menampilkan partikel terbaik dan nilai fitness (MSE) pada setiap epoch.

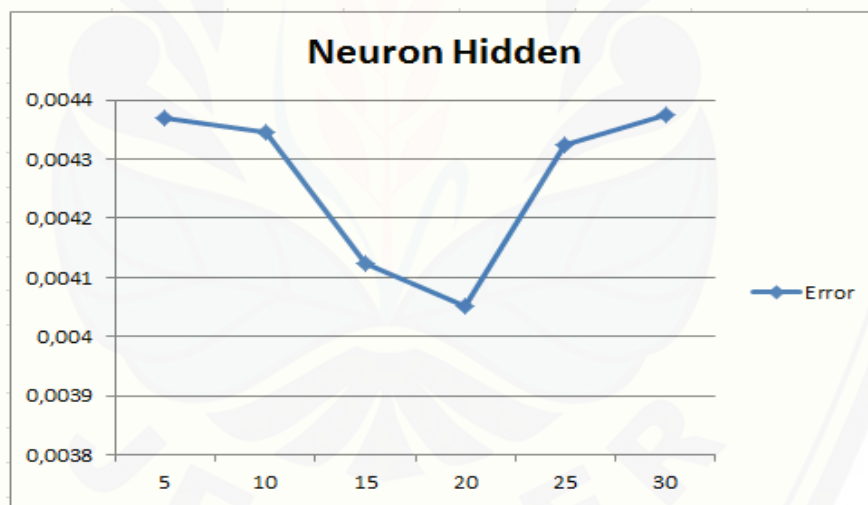
4.1.4 Hasil Simulasi

Program simulasi dijalankan untuk mempermudah perhitungan algoritma BP-PSO dalam peramalan curah hujan. Bobot awal Parameter algoritma BP-PSO

yang akan diuji berupa c_1 , c_2 , jumlah partikel (JP), neuron *hidden* (NH) dan fungsi aktivasi. Pengujian parameter dilakukan sekali dan program akan dijalankan kembali menggunakan parameter terbaik sebagai proses pelatihan data (*data training*). Setelah itu program dijalankan untuk pengujian data dilanjutkan dengan peramalan bulan selanjutnya. Program dijalankan pada Laptop Lenovo ideapad 300-14IBR CPU Intel(R) Celeron(R) CPU N3150 @160GHz RAM 2GB. Berikut uji parameter dan simulasi pelatihan data, dan pengujian data.

a. Uji parameter neuron *hidden*

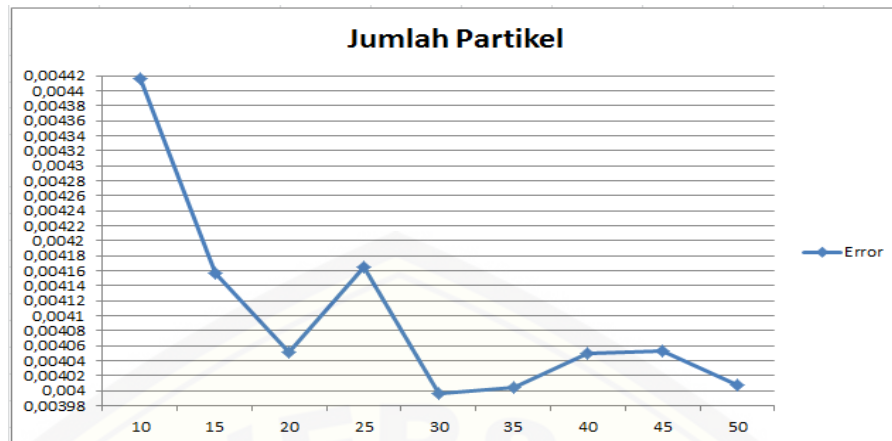
Nilai parameter yang diujikan sebanyak 16 dimulai dari 5 sampai 20. Parameter lain yang digunakan yaitu $c_1 = 1$; $c_2 = 2,5$; $JP = 20$; fungsi aktivasinya yaitu logsig-purelin dan epoch yang digunakan 1000. Hasil yang didapatkan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran C.1 dan berikut merupakan Gambar grafik dari uji parameter neuron *hidden*.



Gambar 4.2 Grafik Uji Parameter Neuron *Hidden*

b. Uji parameter jumlah partikel

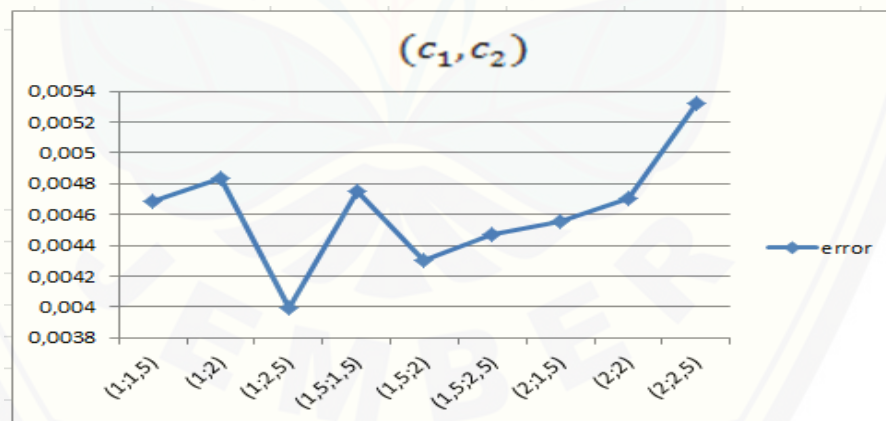
Nilai parameter yang diujikan sebanyak 16 dimulai dari 5 sampai 20. Parameter lain yang digunakan yaitu $c_1 = 1$; $c_2 = 2,5$; $NH = 20$; fungsi aktivasinya yaitu logsig-purelin dan epoch yang digunakan 1000. Hasil yang didapatkan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran C.2 dan berikut merupakan gambar grafik dari uji parameter Jumlah partikel.



Gambar 4.3 Grafik Uji Parameter Jumlah Partikel

c. Uji parameter (c_1, c_2)

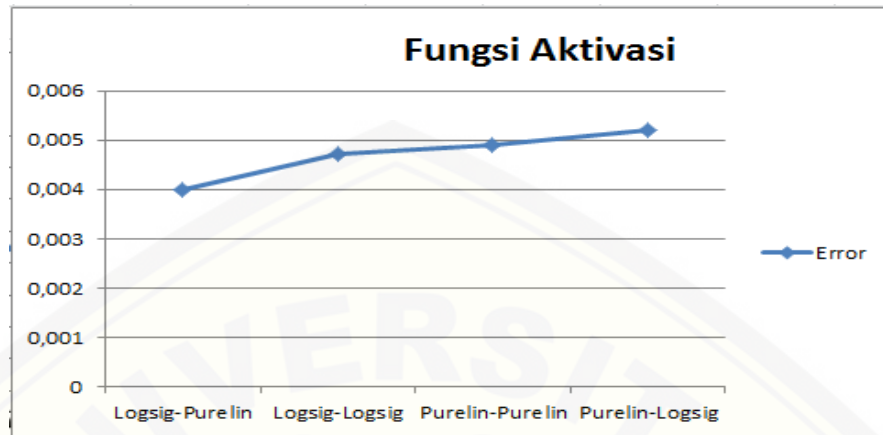
Nilai parameter yang diujikan sebanyak 9 pasangan yaitu (1;1,5), (1;2), (1;2,5), (1,5;1,5), (1,5;2), (1,5;2,5), (2;1,5), (2;2), dan (2;2,5). Parameter lain yang digunakan yaitu $JP = 20$, $NH = 20$, fungsi aktivasinya yaitu logsig-purelin dan epoch yang digunakan 1000. Hasil yang didapatkan secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran C.3 dan berikut merupakan Gambar grafik dari uji parameter (c_1, c_2) .

Gambar 4.4 Grafik Uji Parameter (c_1, c_2)

d. Uji parameter fungsi aktivasi

Nilai parameter yang diujikan sebanyak 16 dimulai dari 5 sampai 20. Parameter lain yang digunakan yaitu $c_1 = 1$; $c_2 = 2,5$; $NH = 20$; $JP = 20$ dan epoch yang digunakan 1000. Hasil yang didapatkan secara lengkap dapat

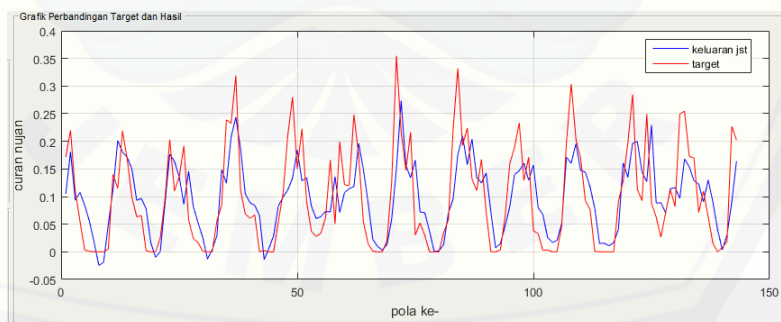
dilihat pada Lampiran C.4 dan berikut merupakan Gambar grafik dari uji parameter fungsi aktivasi.



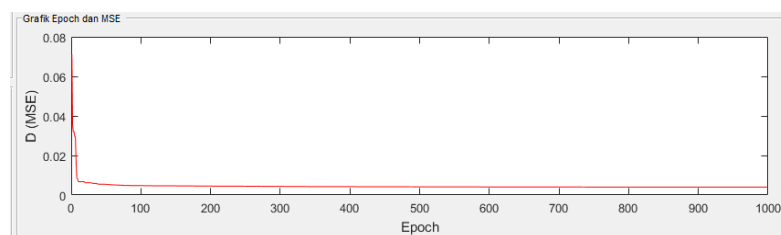
Gambar 4.5 Grafik Uji Parameter Fungsi Aktivasi

e. Pelatihan data

Pengujian parameter yang telah dilakukan menghasilkan parameter terbaik dengan akurasi tertinggi atau nilai error (MSE) terkecil. Parameter tersebut yaitu $c_1 = 1$; $c_2 = 2,5$; $NH = 20$; $JP = 20$, dan fungsi aktivasi logsig-purelin dengan maksimum epoch 1000. Nilai MSE yang didapat yaitu 0,0039962 dan hasil pelatihan data (data *training*) BP-PSO disajikan pada Lampiran D.1. Berikut Gambar 4.6 grafik hasil pelatihan data BP-PSO dan target serta Gambar 4.7 grafik nilai MSE setiap epoch.



Gambar 4.6 Grafik Hasil Pelatihan Data BP-PSO dan target



Gambar 4.7 Grafik Nilai MSE Setiap Epoch

Pelatihan data menggunakan BP akan dibandingkan dengan pelatihan data BP-PSO dengan parameter yang sama. Parameter tersebut yaitu $NH = 20$ dan fungsi aktivasi logsig-purelin dengan maksimum epoch 1000. Pelatihan BP dilatih sebanyak 5 kali dan berikut ini Tabel 4.11 Nilai MSE Pelatihan BP.

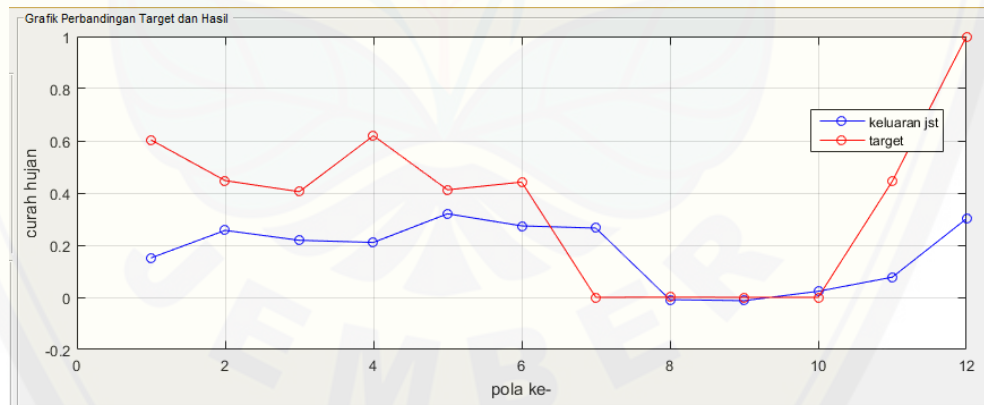
Tabel 4.12 Nilai MSE Pelatihan BP

Uji	Nilai MSE
Pelatihan 1	0,0042781
Pelatihan 2	0,0043434
Pelatihan 3	0,0044101
Pelatihan 4	0,0042019
Pelatihan 5	0,0042454
Rata-rata	0,0042454

Hasil rata-rata MSE BP yang dihasilkan pada gambar diatas yaitu 0,0042454.

f. Pengujian data

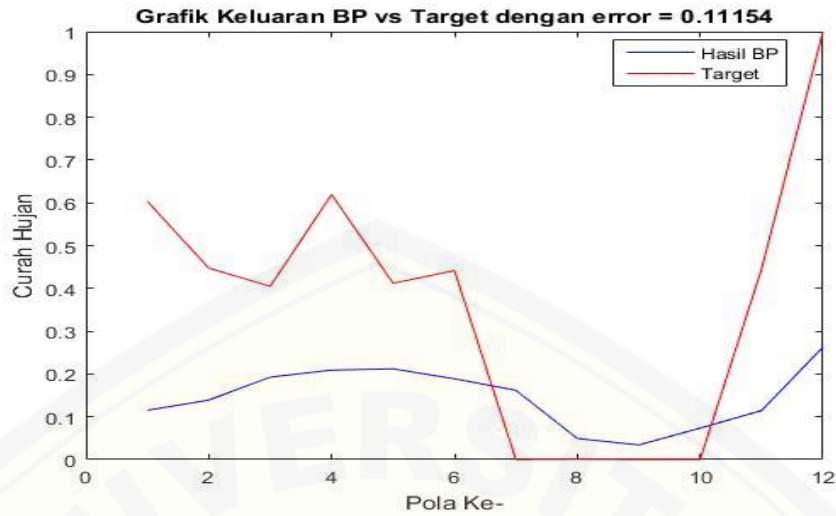
Pengujian data menggunakan nilai paramater yang sama dengan pelatihan data. Bobot dan bias yang diperoleh pada pelatihan data digunakan pada pengujian data. Nilai MSE yang diperoleh pada pengujian data yaitu 0,092391 dan hasil pengujian data (data *testing*) BP-PSO disajikan pada Lampiran E.1. Berikut ini Gambar 4.8 Grafik Pengujian Data Hasil BP-PSO dan Target.



Gambar 4.8 Grafik Hasil Pengujian Data BP-PSO dan target

Pengujian data menggunakan algoritma BP menghasilkan nilai MSE 0,11154.

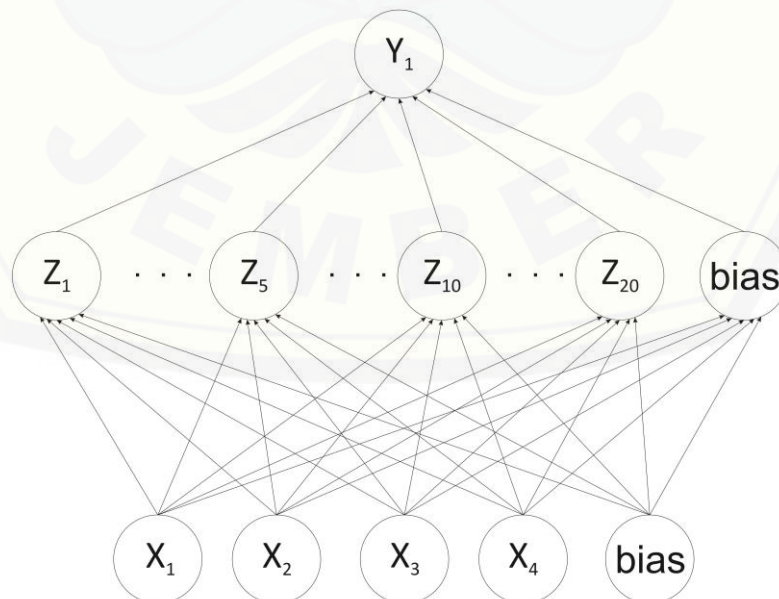
Berikut Gambar 4.9 yang menampilkan grafik pengujian data hasil BP.



Gambar 4.9 Grafik Hasil Pengujian Data BP dan target

4.2 Pembahasan

Arsitektur algoritma BP-PSO menggunakan satu *layer input*, satu *layer hidden* dan satu *layer output*. *Layer input* memiliki 4 neuron *input* dan *layer output* memiliki 1 neuron *output* sedangkan *layer hidden* memiliki 20 neuron *hidden* berdasarkan parameter yang telah diuji. Arsitektur tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.10 Arsitektur BP-PSO. Pengujian parameter digunakan untuk mencari nilai arsitektur terbaik, akurasi tertinggi atau nilai MSE terkecil.



Gambar 4.10 Arsitektur BP-PSO

Berdasarkan hasil uji parameter pada Gambar 4.2 neuron hidden terbaik berjumlah 20 karena menghasikan nilai error (MSE) terkecil. Hal ini ditunjukkan pada gambar 4.2 Grafik Uji Parameter Neuron Hidden bahwa penggunaan neuron hidden dibawah 20 turun dan neuron hidden diatas 20 naik. Namun jumlah neuron hidden untuk memiliki nilai error terkecil harus selalu diuji bergantung pada data yang digunakan. Selanjutnya neuron hidden tersebut akan digunakan untuk menentukan parameter jumlah partikel terbaik.

Parameter jumlah partikel pada setiap individu yang memiliki posisi digunakan sebagai bobot dan bias pada *feedforward*. Jumlah partikel memrepresentasikan banyaknya individu, sehingga peluang solusi untuk bobot dan bias semakin besar. Berdasarkan Gambar 4.3 Grafik Uji Parameter Jumlah Partikel menunjukkan jumlah partikel terbaik adalah 30 disebabkan menghasilkan nilai error (MSE) terkecil. Selanjutnya neuron hidden dan jumlah partikel tersebut akan digunakan untuk menentukan parameter c_1 dan c_2 terbaik.

Parameter c adalah konstanta tingkat pengalaman partikel yang juga disebut koefisien sosial (c_1) dan koefisien kognitif (c_2). Kedua koefisien tersebut mengatur besar kecilnya pengaruh posisi terbaik terhadap posisi sebelum proses perpindahan. Berdasarkan Gambar 4.4 mengenai parameter (c_1, c_2) diperoleh nilai c_1 yang kecil dan c_2 terbesar pada percobaan ini memiliki akurasi tertinggi. Parameter fungsi aktivasi sebagai penghubung antar *layer* dan menentukan keluaran suatu neuron. Pada pengujian fungsi aktivasi didapat fungsi aktivasi terbaik yaitu logsig sebagai penghubung *layer input* ke *layer hidden* dan purelin sebagai penghubung *layer hidden* ke *layer output*.

Peramalan curah hujan dilatih, diuji dan diramal dengan parameter terbaik. Pelatihan data menggunakan algoritma BP-PSO memiliki akurasi yang lebih baik dari pada algoritma BP. Nilai MSE BP 0,0042454 dan BP-PSO adalah 0,0039962. Selisih error 0,0005438. Hal ini terlihat dengan nilai error algoritma BP-PSO lebih kecil dari pada algoritma BP. Dari Gambar 4.6 dapat dijelaskan bahwa hasil BP-PSO dan target tidak terlalu jauh. Hal ini disebabkan adanya beberapa bagian yang saling berhimpit dan beberapa plot mampu mengikuti pola

data ramalan. Sehingga disimpulkan bahwa arsitektur BP-PSO dengan parameter terbaik dapat mengenali pola data ramalan.

Proses peramalan selanjutnya yaitu pengujian. Nilai MSE pengujian BP-PSO adalah 0,092391 sedangkan BP 0,11154 dan selisih nilai error adalah 0,019149. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengujian BP-PSO lebih baik dari pada BP disebabkan nilai MSE BP-PSO lebih kecil dari pada BP.



BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berikut kesimpulan yang didapat dari hasil dan pembahasan.

- a. Pengaruh parameter algoritma dalam pembentuk arsitektur BP-PSO dan BP yang telah diuji adalah:
 1. parameter neuron hidden yang digunakan untuk mendapatkan nilai MSE terkecil pada algoritma BP-PSO dan BP adalah 20.
 2. parameter jumlah partikel terbaik pada algoritma BP-PSO adalah 30.
 3. nilai parameter yang digunakan untuk mendapatkan MSE terkecil adalah c_1 sebesar 1 dan c_2 sebesar 2,5.
 4. fungsi aktivasi terbaik yaitu logsig-purelin yang memiliki nilai MSE terkecil.
- b. Parameter pada point a digunakan dalam perbandingan algoritma BP-PSO dan BP baik dalam *training* maupun *testing*. Proses *training* pada BP-PSO menghasilkan nilai MSE 0,0039962 dan BP menghasilkan nilai MSE 0,0042454. Serta proses *testing* pada BP-PSO menghasilkan nilai MSE 0,092391 dan BP menghasilkan nilai MSE 0,11154. Algoritma BP-PSO dan BP dengan parameter tersebut memiliki nilai MSE BP-PSO lebih kecil dari pada nilai MSE BP baik dalam pelatihan data dan pengujian data. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma BP-PSO lebih baik dari pada algoritma BP.

5.2 Saran

Saran untuk peneliti selanjutnya adalah penambahan atau memodifikasi algoritma peramalan BP-PSO dengan algoritma optimasi yang lain. Selain itu, disarankan untuk menggunakan algoritma BP-PSO pada permasalahan yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Fariza, A., Fuady, A., Prasetyaningrum, Ira. 2011. Aplikasi Gis Berbasis J2me Pencarian Jalur Terpendek Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization (Pso) Di Kabupaten Bangkalan. *Electronic Engineering Polytecnic Institute of Surabaya (EEPIS)*.1:320-324.
- Handayani, Lestari dan M. Adri. 2015. Penerapan JST (*Backpropagation*) untuk Prediksi Curah Hujan (Studi Kasus : Kota Pekanbaru). *Seminar Nasional Teknologi Informasi, Komunikasi dan Industri (SNTIKI)* 7:238-247.
- Lubis, M. R. 2017. Metode Hybrid Particle Swarm Optimization-Neural Network *Backpropagation* Untuk Prediksi Hasil Pertandingan Sepak Boal. *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)*. 1(1):71-83.
- Nikentaria, N., Hendra., Kurniawan, Nola. Ritha., Kurniawan, D. 2018. Optimasi Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* Dengan Particle Swarm Optimization Untuk Prediksi Pasang Surut Air Laut. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*.5(5):605-612.
- Nugraha, Ganda, H., Azhari. 2013. Optimasi Bobot Jaringan Saraf Tiruan Menggunakan *Particle Swarm Optimization*. *IJCCS*.8(1):25-36.
- Pradipta, Nuri Suri. 2013. *Analisis Pengaruh Curah Hujan Di Kota Medan*. *Saintia Matematika*. 1(5):459-468.
- Puspa, Misrawati Aprilyana. 2016. *Backpropagation Neural Network Berbasis Particle Swarm Optimization untuk Prediksi Harga Karet Spesifik Teknis*. *Jurnal Teknosains*. 10(2):197-210.
- Siswanti, K., Wutsqa., Wutsqa, D. 2011. *Peramalan Curah Hujan Di Kota Yogyakarta Dengan Model Fungsi Transfer Multivariat*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Suhendra, C.D., dan Wardoyo, R. 2015. Penentuan Arsitektur Jaringan Syaraf Tiruan *Backpropagation* (Bobot Awal dan Bias Awal) Menggunakan Algoritma Genetika. *International Journal of Computing and Cybernatics Systems*. 9(1):77-88.
- Raharja, M. A. dan I Made T. G M. 2018. Prediksi Ketinggian Gelombang Laut Menggunakan Metode *Backpropagation* Pada Pantai Lebih Gianyar. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer Universitas Udayana*.11(1):19-26.
- Universitas Hasanuddin. 2009. *Klimatologi (Suatu Pengantar)*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Tjasjono, Bayang. 1999. *Klimatologi Umum*. Bandung:Institut Teknik Bandung.

LAMPIRAN

Lampiran A. Data

Lampiran A.1 Data Penelitian

Bulan Tahun	Rata-rata Kelembaban	Rata-rata Temperatur	Kecepatan Rata-rata	Curah Hujan
Januari 2006	80	28,3	3	202,7
Februari 2006	70	28,9	3	246,9
Maret 2006	82	28,3	2	316,4
April 2006	80	29,2	3	158,1
Mei 2006	82	28,9	3	79,5
Juni 2006	79	28	3	4,6
Juli 2006	74	27,4	3	1,3
Agustus 2006	65	27,9	2	0
September 2006	61	28,5	2	0
Oktober 2006	58	30,5	2	0
November 2006	62	31,4	3	7,5
Desember 2006	72	30,3	3	201,5
Januari 2007	69	30,1	3	164,9
Februari 2007	76	28,9	2	315,1
Maret 2007	76	28,9	3	241,1
April 2007	78	29,2	2	141,1
Mei 2007	74	29,3	3	91,3
Juni 2007	73	28,6	3	94,2
Juli 2007	71	28	4	2,9
September 2007	62	28,9	4	0
Oktober 2007	63	30,4	4	35,8
November 2007	68	30,4	2	137,2
Desember 2007	76	29	2	291,8
Januari 2008	72	29,3	3	158,6
Februari 2008	77	28	2	194,2
Maret 2008	78	28,7	3	275,8
April 2008	74	29,2	2	84,6
Mei 2008	70	29	3	35
Juni 2008	70	28,3	3	24
Juli 2008	67	27,6	4	1,4
Agustus 2008	67	28,4	4	0

Bulan Tahun	Rata-rata Kelembaban	Rata-rata Temperatur	Kecepatan Rata-rata	Curah Hujan
September 2008	61	29,8	4	0
Oktober 2008	65	30,9	4	80,8
November 2008	73	29,8	2	121,4
Desember 2008	75	29,2	2	343,8
Januari 2009	72	29,3	3	334,7
Februari 2009	77	28	2	458,5
Maret 2009	78	28,7	3	160,8
April 2009	74	29,2	2	98,4
Mei 2009	70	29	3	87,4
Juni 2009	70	28,3	3	96
Juli 2009	67	27,6	4	0
Agustus 2009	67	28,4	4	3,2
September 2009	61	29,8	4	0
Oktober 2009	65	30,9	4	0
November 2009	73	29,8	2	78,2
Desember 2009	75	29,2	2	152,6
Januari 2010	79	28,1	3	303,2
Februari 2010	78	28,9	2	402,8
Maret 2010	77	29,2	2	216,2
April 2010	80	29,1	2	320,5
Mei 2010	80	29,3	2	129,7
Juni 2010	77	29	2	53,2
Juli 2010	74	29	3	39,7
Agustus 2010	72	29,3	3	48,5
September 2010	76	28,9	2	88,4
Oktober 2010	76	28,9	2	238,8
November 2010	76	29,1	2	73
Desember 2010	79	28,1	2	286,2
Januari 2011	78	28,2	7	174,5
Februari 2011	78	28,3	6	172,4
Maret 2011	77	28,7	5	357
April 2011	78	28,8	4	252,3
Mei 2011	75	29,2	5	78,9
Juni 2011	70	28,3	6	21,3
Juli 2011	69	28,4	8	1,6
Agustus 2011	65	28,2	8	0
September 2011	64	28,9	8	0

Bulan Tahun	Rata-rata Kelembaban	Rata-rata Temperatur	Kecepatan Rata-rata	Curah Hujan
Oktober 2011	63	30,2	8	28
November 2011	74	29,7	5	181,5
Desember 2011	77	29,1	6	510,2
Januari 2012	79	27,9	7	312,1
Februari 2012	79	28,5	5	212,5
Maret 2012	78	28,4	6	311,4
April 2012	74	29,6	6	43,7
Mei 2012	74	29,2	7	75
Juni 2012	71	28,7	7	43
Juli 2012	68	27,9	7	0
Agustus 2012	66	28	8	0
September 2012	64	28,9	8	0
Oktober 2012	65	30,3	8	49,8
November 2012	71	30	6	82,9
Desember 2012	78	28,7	5	317,9
Januari 2013	81	28,1	7	477,7
Februari 2013	79	28,6	6	276,6
Maret 2013	70	28,7	5	322,4
April 2013	79	29	6	189,4
Mei 2013	79	29	5	159,4
Juni 2013	80	28,5	5	240,4
Juli 2013	75	27,9	7	103
Agustus 2013	68	28,4	8	0
September 2013	64	29	8	0
Oktober 2013	64	30,2	7	4,6
November 2013	72	29,3	6	90,3
Desember 2013	80	28,1	6	229,8
Januari 2014	80	27,6	7	272,1
Februari 2014	80	27,9	5	335,6
Maret 2014	77	29	6	186
April 2014	78	29,1	5	245,9
Mei 2014	75	30	7	54,8
Juni 2014	74	29,7	7	47,7
Juli 2014	72	29	8	4
Agustus 2014	69	28,7	9	4,8
September 2014	64	28,8	9	0
Oktober 2014	63	30,2	9	0,4

Bulan Tahun	Rata-rata Kelembaban	Rata-rata Temperatur	Kecepatan Rata-rata	Curah Hujan
November 2014	68	20,3	6	69
Desember 2014	79	28,6	6	284,7
Januari 2015	79	27,9	7	437
Februari 2015	81	27,8	5	294
Maret 2015	79	28,4	6	244
April 2015	81	28,2	5	133
Mei 2015	75	28,4	7	110
Juni 2015	71	28,1	7	1
Juli 2015	71	27,4	8	0
Agustus 2015	67	27,7	9	0
September 2015	64	28,4	9	0
Oktober 2015	64	29,9	9	0
November 2015	66	30,9	6	130
Desember 2015	75	29,4	6	185
Januari 2016	76	29,7	5	284,1
Februari 2016	81	29,1	5	409,3
Maret 2016	77	30	5	163,1
April 2016	80	29,6	6	133
Mei 2016	78	30,1	4	358,8
Juni 2016	79	29,4	2	126,8
Juli 2016	78	29,1	3	90,1
Agustus 2016	72	29,4	3	38,2
September 2016	74	29,7	4	102
Oktober 2016	60	29,1	4	161,5
November 2016	79	29,1	3	117,9
Desember 2016	80	28,5	4	358,8
Januari 2017	82	28,4	4	366,3
Februari 2017	81	28,2	4	248,5
Maret 2017	80	28,7	3	244
April 2017	79	29	3	102,1
Mei 2017	75	29,3	4	157,9
Juni 2017	78	28,5	4	91,5
Juli 2017	73	28,2	5	22,4
Agustus 2017	69	27,9	5	0
September 2017	70	28,8	5	11,3
Oktober 2017	69	30,4	4	26,6
November 2017	79	29	3	326,6

Bulan Tahun	Rata-rata Kelembaban	Rata-rata Temperatur	Kecepatan Rata-rata	Curah Hujan
Desember 2017	80	28,8	3	291,1
Januari 2018	82	28,3	1,8	868
Februari 2018	82	28,2	2,1	643,6
Maret 2018	82	28,7	1,7	582,4
April 2018	77	29,8	2	890,9
Mei 2018	73	29,4	2,3	592,7
Juni 2018	74	28,8	2,2	635,4
Juli 2018	72	27,7	2,2	0
Agustus 2018	69	27,6	2,6	1
September 2018	67	28,8	2,8	0
Oktober 2018	66	30,3	2,4	0
November 2018	73	30,1	1,8	640,1
Desember 2018	78	29,2	1,8	1438,3
Data Maksimum	82	31,4	9	1438,3
Data Minimum	58	20,3	1,7	0

Lampiran A.2 Data penelitian normalisasi

Bulan Tahun	Rata-rata Kelembaban	Rata-rata Temperatur	Kecepatan Rata-rata	Curah Hujan
Januari 2006	0,916667	0,720721	0,178082	0,14093
Februari 2006	0,5	0,774775	0,178082	0,171661
Maret 2006	1	0,720721	0,041096	0,219982
April 2006	0,916667	0,801802	0,178082	0,109921
Mei 2006	1	0,774775	0,178082	0,055274
Juni 2006	0,875	0,693694	0,178082	0,003198
Juli 2006	0,666667	0,63964	0,178082	0,000904
Agustus 2006	0,291667	0,684685	0,041096	0
September 2006	0,125	0,738739	0,041096	0
Oktober 2006	0	0,918919	0,041096	0
November 2006	0,166667	1	0,178082	0,005214
Desember 2006	0,583333	0,900901	0,178082	0,140096
Januari 2007	0,458333	0,882883	0,178082	0,114649
Februari 2007	0,75	0,774775	0,041096	0,219078
Maret 2007	0,75	0,774775	0,178082	0,167628
April 2007	0,833333	0,801802	0,041096	0,098102
Mei 2007	0,666667	0,810811	0,178082	0,063478

Juni 2007	0,625	0,747748	0,178082	0,065494
Juli 2007	0,541667	0,693694	0,315068	0,002016
Agustus 2007	0,333333	0,693694	0,315068	0
September 2007	0,166667	0,774775	0,315068	0
Oktober 2007	0,208333	0,90991	0,315068	0,02489
November 2007	0,416667	0,90991	0,041096	0,09539
Desember 2007	0,75	0,783784	0,041096	0,202878
Januari 2008	0,583333	0,810811	0,178082	0,110269
Februari 2008	0,791667	0,693694	0,041096	0,135021
Maret 2008	0,833333	0,756757	0,178082	0,191754
April 2008	0,666667	0,801802	0,041096	0,058819
Mei 2008	0,5	0,783784	0,178082	0,024334
Juni 2008	0,5	0,720721	0,178082	0,016686
Juli 2008	0,375	0,657658	0,315068	0,000973
Agustus 2008	0,375	0,72973	0,315068	0
September 2008	0,125	0,855856	0,315068	0
Oktober 2008	0,291667	0,954955	0,315068	0,056177
November 2008	0,625	0,855856	0,041096	0,084405
Desember 2008	0,708333	0,801802	0,041096	0,239032
Januari 2009	0,583333	0,810811	0,178082	0,232705
Februari 2009	0,791667	0,693694	0,041096	0,318779
Maret 2009	0,833333	0,756757	0,178082	0,111799
April 2009	0,666667	0,801802	0,041096	0,068414
Mei 2009	0,5	0,783784	0,178082	0,060766
Juni 2009	0,5	0,720721	0,178082	0,066745
Juli 2009	0,375	0,657658	0,315068	0
Agustus 2009	0,375	0,72973	0,315068	0,002225
September 2009	0,125	0,855856	0,315068	0
Oktober 2009	0,291667	0,94955	0,315068	0
November 2009	0,625	0,855856	0,041096	0,05437
Desember 2009	0,708333	0,801802	0,041096	0,106097
Januari 2010	0,875	0,702703	0,178082	0,210804
Februari 2010	0,833333	0,774775	0,041096	0,280053
Maret 2010	0,791667	0,801802	0,041096	0,150316
April 2010	0,916667	0,792793	0,041096	0,222833
Mei 2010	0,916667	0,810811	0,041096	0,090176
Juni 2010	0,791667	0,783784	0,041096	0,036988
Juli 2010	0,666667	0,783784	0,178082	0,027602
Agustus 2010	0,583333	0,810811	0,178082	0,03372

Bulan Tahun	Rata-rata Kelembaban	Rata-rata Temperatur	Kecepatan Rata-rata	Curah Hujan
September 2010	0,75	0,774775	0,041096	0,061461
Oktober 2010	0,75	0,774775	0,041096	0,166029
November 2010	0,75	0,792793	0,041096	0,050754
Desember 2010	0,875	0,702703	0,041096	0,198985
Januari 2011	0,833333	0,711712	0,726027	0,121324
Februari 2011	0,833333	0,720721	0,589041	0,119864
Maret 2011	0,791667	0,756757	0,452055	0,24821
April 2011	0,833333	0,765766	0,315068	0,175415
Mei 2011	0,708333	0,801802	0,452055	0,054856
Juni 2011	0,5	0,720721	0,589041	0,014809
Juli 2011	0,458333	0,72973	0,863014	0,001112
Agustus 2011	0,291667	0,711712	0,863014	0
September 2011	0,25	0,774775	0,863014	0
Oktober 2011	0,208333	0,891892	0,863014	0,019467
November 2011	0,666667	0,846847	0,452055	0,126191
Desember 2011	0,791667	0,792793	0,589041	0,354724
Januari 2012	0,875	0,684685	0,726027	0,216992
Februari 2012	0,875	0,738739	0,452055	0,147744
Maret 2012	0,833333	0,72973	0,589041	0,216506
April 2012	0,666667	0,837838	0,589041	0,030383
Mei 2012	0,666667	0,801802	0,726027	0,052145
Juni 2012	0,541667	0,756757	0,726027	0,029896
Juli 2012	0,416667	0,684685	0,726027	0
Agustus 2012	0,333333	0,693694	0,863014	0
September 2012	0,25	0,774775	0,863014	0
Oktober 2012	0,291667	0,900901	0,863014	0,034624
November 2012	0,541667	0,873874	0,589041	0,057637
Desember 2012	0,833333	0,756757	0,452055	0,221025
Januari 2013	0,958333	0,702703	0,726027	0,332128
Februari 2013	0,875	0,747748	0,589041	0,19231
Maret 2013	0,5	0,756757	0,452055	0,224154
April 2013	0,875	0,783784	0,589041	0,131683
Mei 2013	0,875	0,783784	0,452055	0,110825
Juni 2013	0,916667	0,738739	0,452055	0,167142
Juli 2013	0,708333	0,684685	0,726027	0,071612
Agustus 2013	0,416666	0,72973	0,863014	0
September 2013	0,25	0,783784	0,863014	0

Bulan Tahun	Rata-rata Kelembaban	Rata-rata Temperatur	Kecepatan Rata-rata	Curah Hujan
Oktober 2013	0,25	0,891892	0,726027	0,003198
November 2013	0,583333	0,810811	0,589041	0,062782
Desember 2013	0,916667	0,702703	0,589041	0,159772
Januari 2014	0,916667	0,657658	0,726027	0,189182
Februari 2014	0,916667	0,684685	0,452055	0,233331
Maret 2014	0,791667	0,783784	0,589041	0,129319
April 2014	0,833333	0,792793	0,452055	0,170966
Mei 2014	0,708333	0,873874	0,726027	0,038101
Juni 2014	0,666667	0,846847	0,726027	0,033164
Juli 2014	0,583333	0,783784	0,863014	0,002781
Agustus 2014	0,458333	0,756757	1	0,003337
September 2014	0,25	0,765766	1	0
Oktober 2014	0,208333	0,891892	1	0,000278
November 2014	0,416667	0	0,589041	0,047973
Desember 2014	0,875	0,747748	0,589041	0,197942
Januari 2015	0,875	0,684685	0,726027	0,303831
Februari 2015	0,958333	0,675676	0,452055	0,204408
Maret 2015	0,875	0,72973	0,589041	0,169645
April 2015	0,958333	0,711712	0,452055	0,09247
Mei 2015	0,708333	0,72973	0,726027	0,076479
Juni 2015	0,541667	0,702703	0,726027	0,000695
Juli 2015	0,541667	0,63964	0,863014	0
Agustus 2015	0,375	0,666667	1	0
September 2015	0,25	0,72973	1	0
Oktober 2015	0,25	0,864865	1	0
November 2015	0,333333	0,954955	0,589041	0,090384
Desember 2015	0,708333	0,81982	0,589041	0,128624
Januari 2016	0,75	0,846847	0,452055	0,197525
Februari 2016	0,958333	0,792793	0,452055	0,284572
Maret 2016	0,791667	0,873874	0,452055	0,113398
April 2016	0,916667	0,837838	0,589041	0,09247
Mei 2016	0,833333	0,882883	0,315068	0,249461
Juni 2016	0,875	0,81982	0,041096	0,08816
Juli 2016	0,833333	0,792793	0,178082	0,062643
Agustus 2016	0,583333	0,81982	0,178082	0,026559
September 2016	0,666667	0,846847	0,315068	0,070917
Oktober 2016	0,083333	0,792793	0,315068	0,112285

Bulan Tahun	Rata-rata Kelembaban	Rata-rata Temperatur	Kecepatan Rata-rata	Curah Hujan
November 2016	0,875	0,792793	0,178082	0,081972
Desember 2016	0,916667	0,738739	0,315068	0,249461
Januari 2017	1	0,72973	0,315068	0,254676
Februari 2017	0,958333	0,711712	0,315068	0,172773
Maret 2017	0,916667	0,756757	0,178082	0,169645
April 2017	0,875	0,783784	0,178082	0,070987
Mei 2017	0,708333	0,810811	0,315068	0,109782
Juni 2017	0,833333	0,738739	0,315068	0,063617
Juli 2017	0,625	0,711712	0,452055	0,015574
Agustus 2017	0,458333	0,684685	0,452055	0
September 2017	0,5	0,765766	0,452055	0,007856
Oktober 2017	0,458333	0,90991	0,315068	0,018494
November 2017	0,875	0,783784	0,178082	0,227074
Desember 2017	0,916667	0,765766	0,178082	0,202392
Januari 2018	1	0,720721	0,013699	0,60349
Februari 2018	1	0,711712	0,054796	0,447473
Maret 2018	1	0,756757	0	0,404922
April 2018	0,791667	0,855856	0,041096	0,619412
Mei 2018	0,625	0,81982	0,082192	0,412084
Juni 2018	0,666667	0,765766	0,068493	0,441772
Juli 2018	0,583333	0,666667	0,068493	0
Agustus 2018	0,458333	0,657658	0,123288	0,000695
September 2018	0,375	0,765766	0,150685	0
Oktober 2018	0,333333	0,900901	0,09589	0
November 2018	0,625	0,882883	0,013699	0,445039
Desember 2018	0,833333	0,801802	0,013699	1

Lampiran B. Kode Program

Lampiran B.1 Algoritma PSO

```

clc
clear all
tic
rng default
warning off

m=length(inputs(:,1));
o=length(targets(:,1));

%Data latih
filename = 'Book1.xlsx';
sheetname1 = 'Sheet1';
input = xlsread(filename,sheetname1,'G2:J144');
target = xlsread(filename,sheetname1,'K2:K144');
inputs=input';targets=target';

%nilai parameter neural network
n=20; %jumlah hidden layer
net=newff(minmax(inputs),[n 1],{'logsig','purelin'},'traingdx');
jbb=m*n+n+n+o; %jumlah bobot dan bias

%nilai parameter pso
jp=20; %jumlah populasi
c1=1.5;
c2=2.5;
epoch=1; %epoch
maxepoch=20;

%inisialisasi batas atas dan batas bawah
tic
for j=1:jbb
    BB(1,j)=-1.5; %batas bawah
    BA(1,j)=1.5; %batas atas
end

%inisialisasi posisi awal pso
for i=1:jp
    for j=1:jbb
        xx(i,j)=BB(1,j)+rand*(BA(1,j)-BB(1,j));
    end
end

fitness=@(x) fungsifitness(x,n,m,o,net,inputs,targets);

x0=xx;
x=x0; %populasi awal
v=0.1*x0; %kecepatan awal

%fitness awal
for i=1:jp

```

```

    fitnes0(i,1)=fitness(x0(i,:));
end
[minfitnes0,index0]=min(fitnes0);
pbest=x0;          %nilai pbest awal
gbest=x0(index0,:); %nilai gbest awal

% algoritma pso dimulai
while epoch<=maxepoch
    %Inialisasi bobot inertia
    w=0.1+rand*0.4;

    %memperbarui kecepatan pso
    for i=1:jp
        for j=1:jbb
            v(i,j)=w*v(i,j)+c1*rand*(pbest(i,j)-x(i,j))...
                +c2*rand*(gbest(1,j)-x(i,j));
        end
    end

    %memperbarui posisi pso
    for i=1:jp
        for j=1:jbb
            x(i,j)=x(i,j)+v(i,j);
        end
    end

    %menangani pelanggaran batas
    for i=1:jp
        for j=1:jbb
            if x(i,j)<BB(j)
                x(i,j)=BB(j);
            elseif x(i,j)>BA(j)
                x(i,j)=BA(j);
            end
        end
    end

    %menghitung fitness
    for i=1:jp
        fitnes(i,1)=fitness(x(i,:));
    end

    %memperbarui pbest dan fitness
    for i=1:jp
        if fitnes(i,1)<fitnes0(i,1)
            pbest(i,:)=x(i,:);
            fitnes0(i,1)=fitnes(i,1);
        end
    end

    [minfitnes,index]=min(fitnes0); % mencari partikel terbaik
    Bestminfitnes(epoch,1)=minfitnes; % menyimpan best fitness
    Bestfitnesepoch(1)=epoch; % menyimpan penghitungan iterasi

```

```

%memperbarui gbest dan best fitness
if minfitnes<minfitnes0
    gbest=pbest(index,:);
    minfitnes0=minfitnes;
end

%menampilkan hasil epoch
if epoch==1
    H={'Epoch','Partikel Terbaik','Fitness(MSE)'};

end
disp(sprintf('%8g %8g %8.20f ',epoch,index,minfitnes0));
epoch=epoch+1;
end

%ps0 algoritma diakhiri
xo=gbest;

%bobot input ke hidden layer
k=0;
for i=1:n
    for j=1:m
        k=k+1;
        vi(i,j)=xo(k);
    end
end

%bobot hidden layer ke ouput dan bobot bias input ke hidden layer
for i=1:n
    k=k+1;
    wo(i)=xo(k);
    vbi(i,1)=xo(k+n);
end

%bobot bias hidden layer ke output
for i=1:o
    k=k+1;
    wbo(i,1)=xo(k);
end

[hasil] = jst(inputs,n,vi,wo,vbi,wbo);
save ('simpan','m','o','n','vi','wo','vbi','wbo')
[round(hasil) targets]
%menghitung MSE
err=sum((hasil-targets).^2)/length(hasil);

%grafik MSE dan epoch
figure
plot(Bestminfitnes(1:Bestfitnesepoch(1),1),'-r');
xlabel('Epoch');
ylabel('D (MSE)');

%grafik perbandingan target dan output
figure

```

```

plot(hasil, '-b');
hold('on');
plot(targets, '-r');
hold('off');
grid('on');
xlabel('pola ke-');
ylabel('curah hujan');
legend('keluaran jst', 'target', 'location', 'best');

% waktu
t=toc;

```

Lampiran B.2 Fungsi Fitness

```

function [f] = fungsifitness(x,n,m,o,net,inputs,targets)
k=0;
for i=1:n
    for j=1:m
        k=k+1;
        xi(i,j)=x(k);
    end
end
for i=1:n
    k=k+1;
    xl(i)=x(k);
    xb1(i,1)=x(k+n);
end
for i=1:o
    k=k+1;
    xb2(i,1)=x(k);
end
net.iw{1,1}=xi;
net.lw{2,1}=xl;
net.b{1,1}=xb1;
net.b{2,1}=xb2;
hasil=sim(net,inputs);
f=sum((hasil-targets).^2)/length(inputs);

```

Lampiran B.3 JST *Feedforward*

```

function [d] = jst(x,n,vi,wo,vbi,wbo)

warning off
net=newff(minmax(x),[n 1],{'logsig','purelin'},'traingdx');
net.iw{1,1}=vi;
net.lw{2,1}=wo;
net.b{1,1}=vbi;
net.b{2,1}=wbo;
d=sim(net,x);

```

Lampiran B.4 *Backpropagation*

```
clc;clear all;warning off;
%proses membaca data latih dari excel
filename = 'Book1.xlsx';
sheetname1 = 'Sheet1';
input = xlsread(filename,sheetname1,'G2:J144');
target = xlsread(filename,sheetname1,'K2:K144');
inputs=input';targets=target';
[m,n]=size(inputs);

% pembuatan JST
net=newff(minmax(inputs),[20 1],{'logsig','purelin'},'traingdx');

% memberikan nilai untuk mempengaruhi proses pelatihan
net.performFcn='mse';
net.trainParam.goal=0.001; %MSE terkecil
net.trainParam.Show=20;
net.trainParam.epochs=1000; %epoch
net.trainParam.lr=0.1; % learning rate

% prose training
[net_keluaran,tr,Y,E]=train(net,inputs,targets);

% hasil setelah pelatihan
jumlah_iterasi=tr.num_epochs;
nilai_keluaran=Y;
nilai_error=E;
error_MSE=(1/n)*sum(nilai_error.^2);

% hasil prediksi
hasil_latih=sim(net_keluaran,inputs);

figure,
plot(hasil_latih,'-b')
hold on
plot(targets,'r-')
hold off
title(strcat(['Grafik Keluaran BP vs Target dengan error = '...
    num2str(error_MSE)]))
xlabel('Pola Ke-')
ylabel('Curah Hujan')
legend('Hasil BP', 'Target', 'Location','Best')
save bpsave.mat net_keluaran
save ('bpsave','net_keluaran')
```


Lampiran C. Simulasi Program

Lampiran C.1 Uji Parameter *Neuron hidden*

<i>Neuron hidden</i>	Waktu	Error
5	795,1527	0,00436997055602069990
10	809,2351	0,00434483318995855600
15	813,1471	0,00412437163012959080
20	817,251	0,00405165761938696460
25	824,0811	0,00432389291456897980
30	825,1372	0,00437537070203262730

Lampiran C.2 Uji Parameter Jumlah Partikel

Jumlah partikel	Waktu	Error
5	178,4249	0,00545905367866731000
10	430,5891	0,00441670321090272160
15	618,8268	0,00415619293799221030
20	804,5543	0,00405165761938696460
25	1001,7643	0,00416509112436667330
30	1198,5968	0,00399618725282605870
35	1386,0492	0,00400461501956080160
40	1577,1289	0,00404918907460510150
45	1761,6818	0,00405315325756407190
50	1960,768	0,00400736616057157000

Lampiran C.3 Uji Parameter (c_1, c_2)

(c_1, c_2)	Waktu	error
(1;1,5)	1201.4051	0.00468190725100418960
(1;2)	1197.7341	0.00483768452775419980
(1;2,5)	1198.5968	0.00399618725282605870
(1,5;1,5)	1205.0931	0.00475168742392638980
(1,5;2)	1202.6822	0.00430262955333174210
(1,5;2,5)	1302.628	0.00447232396317348660
(2;1,5)	1196.9725	0.00455681818379953790
(2;2)	1196.4897	0.00470233743344351720
(2;2,5)	1202.4182	0.00532539721552069670

Lampiran C.4 Uji Parameter Fungsi Aktivasi

Fungsi aktivasi	waktu	Error
Logsig-Purelin	1198.5968	0.00399618725282605870
Logsig-Logsig	1194.4516	0.00471375670842292310
Purelin-Purelin	1194.4724	0.00490439107367797790
Purelin-Logsig	1191.5555	0.00520719688764395210

Lampiran D Hasil dan Target Pelatihan Data Algoritma BP-PSO

x1	x2	x3	x4	target	hasil	error
0,9167	0,7207	0,1781	0,1409	0,1717	0,1047	0,067
0,5	0,7748	0,1781	0,1717	0,22	0,1812	0,0388
1	0,7207	0,0411	0,22	0,1099	0,0934	0,0165
0,9167	0,8018	0,1781	0,1099	0,0553	0,1075	-0,0522
1	0,7748	0,1781	0,0553	0,0032	0,0843	-0,0811
0,875	0,6937	0,1781	0,0032	9,04E-04	0,0553	-0,0544
0,6667	0,6396	0,1781	9,04E-04	0	0,0169	-0,0169
0,2917	0,6847	0,0411	0	0	-0,0247	0,0247
0,125	0,7387	0,0411	0	0	-0,019	0,019
0	0,9189	0,0411	0	0,0052	0,0496	-0,0444
0,1667	1	0,1781	0,0052	0,1401	0,1127	0,0274
0,5833	0,9009	0,1781	0,1401	0,1146	0,2014	-0,0868
0,4583	0,8829	0,1781	0,1146	0,2191	0,1804	0,0386
0,75	0,7748	0,0411	0,2191	0,1676	0,1709	-0,0033
0,75	0,7748	0,1781	0,1676	0,0981	0,1497	-0,0516
0,8333	0,8018	0,0411	0,0981	0,0635	0,0933	-0,0298
0,6667	0,8108	0,1781	0,0635	0,0655	0,0965	-0,031
0,625	0,7477	0,1781	0,0655	0,002	0,078	-0,076
0,5417	0,6937	0,3151	0,002	0	0,0164	-0,0164
0,3333	0,6937	0,3151	0	0	-0,0099	0,0099
0,1667	0,7748	0,3151	0	0,0249	4,01E-04	0,0245
0,2083	0,9099	0,3151	0,0249	0,0954	0,0873	0,0081
0,4167	0,9099	0,0411	0,0954	0,2029	0,1768	0,0261
0,75	0,7838	0,0411	0,2029	0,1103	0,1637	-0,0535
0,5833	0,8108	0,1781	0,1103	0,135	0,1364	-0,0013
0,7917	0,6937	0,0411	0,135	0,1918	0,0861	0,1057
0,8333	0,7568	0,1781	0,1918	0,0588	0,1457	-0,0869
0,6667	0,8018	0,0411	0,0588	0,0243	0,0819	-0,0576
0,5	0,7838	0,1781	0,0243	0,0167	0,0526	-0,0359
0,5	0,7207	0,1781	0,0167	9,73E-04	0,0258	-0,0248
0,375	0,6577	0,3151	9,73E-04	0	-0,0132	0,0132
0,375	0,7297	0,3151	0	0	0,0043	-0,0043
0,125	0,8559	0,3151	0	0,0562	0,0291	0,027
0,2917	0,955	0,3151	0,0562	0,0844	0,1487	-0,0643
0,625	0,8559	0,0411	0,0844	0,239	0,1242	0,1149
0,7083	0,8018	0,0411	0,239	0,2327	0,2079	0,0248
0,5833	0,8108	0,1781	0,2327	0,3188	0,2436	0,0752

x1	x2	x3	x4	target	hasil	error
0,7917	0,6937	0,0411	0,3188	0,1118	0,1864	-0,0746
0,8333	0,7568	0,1781	0,1118	0,0684	0,105	-0,0365
0,6667	0,8018	0,0411	0,0684	0,0608	0,0888	-0,028
0,5	0,7838	0,1781	0,0608	0,0667	0,0842	-0,0175
0,5	0,7207	0,1781	0,0667	0	0,0659	-0,0659
0,375	0,6577	0,3151	0	0,0022	-0,0139	0,0161
0,375	0,7297	0,3151	0,0022	0	0,0061	-0,0061
0,125	0,8559	0,3151	0	0	0,0291	-0,0291
0,2917	0,9496	0,3151	0	0,0544	0,083	-0,0287
0,625	0,8559	0,0411	0,0544	0,1061	0,0995	0,0066
0,7083	0,8018	0,0411	0,1061	0,2108	0,112	0,0988
0,875	0,7027	0,1781	0,2108	0,2801	0,1333	0,1467
0,8333	0,7748	0,0411	0,2801	0,1503	0,1842	-0,0339
0,7917	0,8018	0,0411	0,1503	0,2228	0,1284	0,0945
0,9167	0,7928	0,0411	0,2228	0,0902	0,1342	-0,0441
0,9167	0,8108	0,0411	0,0902	0,037	0,0825	-0,0455
0,7917	0,7838	0,0411	0,037	0,0276	0,0603	-0,0327
0,6667	0,7838	0,1781	0,0276	0,0337	0,0637	-0,03
0,5833	0,8108	0,1781	0,0337	0,0615	0,0732	-0,0118
0,75	0,7748	0,0411	0,0615	0,166	0,0722	0,0938
0,75	0,7748	0,0411	0,166	0,0508	0,1362	-0,0854
0,75	0,7928	0,0411	0,0508	0,199	0,071	0,128
0,875	0,7027	0,0411	0,199	0,1213	0,107	0,0144
0,8333	0,7117	0,726	0,1213	0,1199	0,1145	0,0054
0,8333	0,7207	0,589	0,1199	0,2482	0,118	0,1302
0,7917	0,7568	0,4521	0,2482	0,1754	0,1962	-0,0208
0,8333	0,7658	0,3151	0,1754	0,0549	0,1495	-0,0946
0,7083	0,8018	0,4521	0,0549	0,0148	0,0894	-0,0746
0,5	0,7207	0,589	0,0148	0,0011	0,0225	-0,0214
0,4583	0,7297	0,863	0,0011	0	0,0097	-0,0097
0,2917	0,7117	0,863	0	0	0,0031	-0,0031
0,25	0,7748	0,863	0	0,0195	0,013	0,0064
0,2083	0,8919	0,863	0,0195	0,1262	0,0594	0,0668
0,6667	0,8468	0,4521	0,1262	0,3547	0,1504	0,2043
0,7917	0,7928	0,589	0,3547	0,217	0,2734	-0,0564
0,875	0,6847	0,726	0,217	0,1477	0,1562	-0,0085
0,875	0,7387	0,4521	0,1477	0,2165	0,1342	0,0823
0,8333	0,7297	0,589	0,2165	0,0304	0,166	-0,1356

x1	x2	x3	x4	target	hasil	error
0,6667	0,8378	0,589	0,0304	0,0521	0,0721	-0,02
0,6667	0,8018	0,726	0,0521	0,0299	0,0708	-0,0409
0,5417	0,7568	0,726	0,0299	0	0,0375	-0,0375
0,4167	0,6847	0,726	0	0	3,97E-04	-3,97E-04
0,3333	0,6937	0,863	0	0	0,0018	-0,0018
0,25	0,7748	0,863	0	0,0346	0,013	0,0216
0,2917	0,9009	0,863	0,0346	0,0576	0,0704	-0,0128
0,5417	0,8739	0,589	0,0576	0,221	0,0952	0,1258
0,8333	0,7568	0,4521	0,221	0,3321	0,1759	0,1562
0,9583	0,7027	0,726	0,3321	0,1923	0,2098	-0,0174
0,875	0,7477	0,589	0,1923	0,2242	0,1576	0,0666
0,5	0,7568	0,4521	0,2242	0,1317	0,2044	-0,0727
0,875	0,7838	0,589	0,1317	0,1108	0,1349	-0,0241
0,875	0,7838	0,4521	0,1108	0,1671	0,1247	0,0425
0,9167	0,7387	0,4521	0,1671	0,0716	0,1426	-0,0709
0,7083	0,6847	0,726	0,0716	0	0,072	-0,072
0,4167	0,7297	0,863	0	0	0,0071	-0,0071
0,25	0,7838	0,863	0	0,0032	0,0148	-0,0116
0,25	0,8919	0,726	0,0032	0,0628	0,046	0,0168
0,5833	0,8108	0,589	0,0628	0,1598	0,0819	0,0779
0,9167	0,7027	0,589	0,1598	0,1892	0,1397	0,0494
0,9167	0,6577	0,726	0,1892	0,2333	0,1468	0,0866
0,9167	0,6847	0,4521	0,2333	0,1293	0,1601	-0,0308
0,7917	0,7838	0,589	0,1293	0,171	0,1294	0,0415
0,8333	0,7928	0,4521	0,171	0,0381	0,157	-0,1189
0,7083	0,8739	0,726	0,0381	0,0332	0,08	-0,0469
0,6667	0,8468	0,726	0,0332	0,0028	0,0677	-0,065
0,5833	0,7838	0,863	0,0028	0,0033	0,026	-0,0227
0,4583	0,7568	1	0,0033	0	0,017	-0,017
0,25	0,7658	1	0	2,78E-04	0,0207	-0,0204
0,2083	0,8919	1	2,78E-04	0,048	0,0513	-0,0033
0,4167	0	0,589	0,048	0,1979	0,1712	0,0268
0,875	0,7477	0,589	0,1979	0,3038	0,1602	0,1436
0,875	0,6847	0,726	0,3038	0,2044	0,1957	0,0087
0,9583	0,6757	0,4521	0,2044	0,1696	0,1472	0,0224
0,875	0,7297	0,589	0,1696	0,0925	0,1443	-0,0518
0,9583	0,7117	0,4521	0,0925	0,0765	0,1173	-0,0408

x1	x2	x3	x4	target	hasil	error
0,7083	0,7297	0,726	0,0765	6,95E-04	0,0784	-0,0777
0,5417	0,7027	0,726	6,95E-04	0	0,0151	-0,0151
0,5417	0,6396	0,863	0	0	0,0156	-0,0156
0,375	0,6667	1	0	0	0,011	-0,011
0,25	0,7297	1	0	0	0,0165	-0,0165
0,25	0,8649	1	0	0,0904	0,0407	0,0496
0,3333	0,955	0,589	0,0904	0,1286	0,1609	-0,0323
0,7083	0,8198	0,589	0,1286	0,1975	0,1349	0,0627
0,75	0,8468	0,4521	0,1975	0,2846	0,1964	0,0882
0,9583	0,7928	0,4521	0,2846	0,1134	0,1997	-0,0863
0,7917	0,8739	0,4521	0,1134	0,0925	0,1445	-0,052
0,9167	0,8378	0,589	0,0925	0,2495	0,1268	0,1226
0,8333	0,8829	0,3151	0,2495	0,0882	0,2293	-0,1411
0,875	0,8198	0,0411	0,0882	0,0626	0,0882	-0,0256
0,8333	0,7928	0,1781	0,0626	0,0266	0,089	-0,0624
0,5833	0,8198	0,1781	0,0266	0,0709	0,0705	4,31E-04
0,6667	0,8468	0,3151	0,0709	0,1123	0,1142	-0,0019
0,0833	0,7928	0,3151	0,1123	0,082	0,1162	-0,0342
0,875	0,7928	0,1781	0,082	0,2495	0,0968	0,1527
0,9167	0,7387	0,3151	0,2495	0,2547	0,1681	0,0866
1	0,7297	0,3151	0,2547	0,1728	0,1539	0,0188
0,9583	0,7117	0,3151	0,1728	0,1696	0,1287	0,041
0,9167	0,7568	0,1781	0,1696	0,071	0,1228	-0,0518
0,875	0,7838	0,1781	0,071	0,1098	0,0905	0,0193
0,7083	0,8108	0,3151	0,1098	0,0636	0,13	-0,0664
0,8333	0,7387	0,3151	0,0636	0,0156	0,09	-0,0744
0,625	0,7117	0,4521	0,0156	0	0,0401	-0,0401
0,4583	0,6847	0,4521	0	0,0079	0,0035	0,0044
0,5	0,7658	0,4521	0,0079	0,0185	0,0306	-0,0121
0,4583	0,9099	0,3151	0,0185	0,2271	0,0903	0,1368
0,875	0,7838	0,1781	0,2271	0,2024	0,1641	0,0383

Lampiran E. Hasil dan Target Pengujian Data

Lampiran E.1 Hasil dan target pengujian data algoritma BP

Bulan	Target	Hasil	Denormalisasi
Januari	0,6035	0,1152	165,7
Februari	0,4475	0,1391	200,1
Maret	0,4049	0,1928	277,3
April	0,6194	0,2091	300,7
Mei	0,4121	0,2120	304,9
Juni	0,4418	0,1888	271,6
Juli	0	0,1620	233,0
Agustus	0,000695	0,0494	71,1
September	0	0,0342	49,2
Oktober	0	0,0736	105,9
November	0,445	0,1146	164,8
Desember	1	0,2629	378,1
MSE		0,11154	0,11154

Lampiran E.2 Hasil dan target pengujian data algoritma BP-PSO

N	Target	Hasil	Denormalisasi
Januari	0,6035	0.1386	199,3484
Februari	0,4475	0.2314	332,8226
Maret	0,4049	0.1718	247,0999
April	0,6194	0.1587	228,2582
Mei	0,4121	0.4768	685,7814
Juni	0,4418	0.3936	566,1149
Juli	0	0.3659	526,274
Agustus	0,000695	0.000893	1,284402
September	0	-0.0112	-16,109
Oktober	0	0.0146	20,99918
November	0,445	0.0668	96,07844
Desember	1	0.4565	656,584