

**PENERAPAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE*
SYSTEM (ANFIS) DALAM MERAMALKAN
CURAH HUJAN DI KABUPATEN MAROS**

SKRIPSI



RAEL HOFNI TANDIRERUNG

H051181308

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
JANUARI 2023**

**PENERAPAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE*
SYSTEM (ANFIS) DALAM MERAMALKAN
CURAH HUJAN DI KABUPATEN MAROS**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Sains pada
Program Studi Statistika Departemen Statistika Fakultas Matematika dan
Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin**

RAEL HOFNI TANDIRERUNG

H051181308

**PROGRAM STUDI STATISTIKA DEPARTEMEN STATISTIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

MAKASSAR

JANUARI 2023

LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh-sungguh bahwa skripsi yang saya buat dengan judul:

Penerapan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) Dalam Meramalkan Curah Hujan Di Kabupaten Maros

adalah benar hasil karya saya sendiri, bukan hasil plagiat dan belum pernah dipublikasikan dalam bentuk apapun

Makassar, 25 Januari 2023



Rael Hofni Tandirerung

NIM H051181308

**PENERAPAN *ADAPTIVE NEURO FUZZY INFERENCE SYSTEM*
(ANFIS) DALAM MERAMALKAN CURAH HUJAN DI
KABUPATEN MAROS**

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama



Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.

NIP. 197504292000032001

Pembimbing Pertama



Sitti Sahriman, S.Si., M.Si.

NIP. 198810182015042002

Ketua Program Studi



Dr. Nurul Sunusi, S.Si., M.Si.

NIP. 197201171997032002

Pada 25 Januari 2023

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Rael Hofni Tandirerung
NIM : H051181308
Program Studi : Statistika
Judul Skripsi : Penerapan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS)
Dalam Meramalkan Curah Hujan Di Kabupaten Maros

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Program Studi Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

DEWAN PENGUJI

1. Ketua : Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si. (.....)
2. Sekretaris : Sitti Sahriman, S.Si., M.Si. (.....)
3. Anggota : Dr. Nurtiti Sunusi, S.Si., M.Si. (.....)
4. Anggota : Anisa, S.Si., M.Si. (.....)

Ditetapkan di : Makassar

Tanggal : 25 Januari 2023

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur selalu penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang senantiasa menyertai dan melindungi penulis sepanjang penyusunan skripsi ini. Atas pertolongan-Nya yang selalu menyertai dan menuntun penulis hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “**Penerapan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) Dalam Meramalkan Curah Hujan Di Kabupaten Maros**” sebagai salah satu syarat memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin.

Penulis mengucapkan terima kasih sekaligus beryukur untuk kedua orang tua terkasih **Ayah** dan **Ibu** yang selalu mendoakan, mendukung, memberikan cinta kasihnya dengan tulus ikhlas sampai saat ini. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada seluruh keluarga besar dimana pun berada yang telah mendoakan.

Penghargaan yang tulus dan ucapan terima kasih dengan penuh keikhlasan juga disampaikan kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
2. **Bapak Dr. Eng. Amiruddin**, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin beserta seluruh jajarannya.
3. **Ibu Dr. Nurtiti Sunusi S.Si., M.Si.**, selaku Ketua Departemen Statistika, segenap Dosen Pengajar dan Staf yang telah membekali ilmu dan kemudahan kepada penulis dalam berbagai hal selama menjadi mahasiswa di Departemen Statistika.
4. **Ibu Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.**, selaku Pembimbing Utama dan Pembimbing Pertama yaitu **Ibu Sitti Sahriman, S.Si., M.Si.**, yang dengan penuh kesabaran telah meluangkan waktu dan pemikirannya di tengah berbagai kesibukan dan prioritasnya untuk senantiasa memberikan arahan, dorongan, dan motivasi kepada penulis mulai dari awal hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.

5. **Ibu Dr. Nurtiti Sunusi, S.Si., M.Si.** dan **Ibu Anisa, S.Si., M.Si.**, selaku Tim Penguji yang telah memberikan kritikan yang membangun dalam penyempurnaan penyusunan tugas akhir ini serta waktu yang telah diberikan kepada penulis.
6. **Ibu Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.**, selaku Penasehat Akademik penulis dan sekaligus menjadi pembimbing utama skripsi penulis. Terima kasih atas kesabaran, kritik, serta motivasi yang selalu diberikan kepada Penulis selama menjalani pendidikan di Departemen Statistika.
7. Kepada *Support System* **Bebih** yang senantiasa mendukung dan membantu dalam banyak hal selama pengerjaan skripsi dan berbagai aktivitas. atasnya terima kasih yang tulus dan syukur selalu penulis ucapkan.
8. Untuk sobat koperasi, **Manto, Agra, Nopa, Dian, Rifka, Yuyu, Hafis, Ika, Acca, Emi, Fani**, dan **Haksar** terima kasih atas segala kebersamaan selama perkuliahan. Terima kasih pula atas kerja sama, kenangan suka duka serta dukungan selama proses penyusunan skripsi ini.
9. **Teman-teman Statistika 2018** atas segala kebersamaan selama 4 tahun lebih di dunia perkuliahan, kerja sama, kenangan suka duka serta dukungan selama proses perkuliahan hingga skripsi ini dapat selesai.
10. **GMKI Komisariat FMIPA Unhas** yang telah menjadi wadah pengembangan kualitas diri dan pelayanan bagi penulis. Terkhusus pengurus yang mendoakan dalam keberlangsungan Pendidikan di kampus.
11. Kepada seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang turut mendoakan, memberi dukungan moril maupun materil kepada penulis selama proses penyelesaian tugas akhir ini.
12. Terima kasih kepada **Sang Penulis** skripsi ini yang selalu berjuang dan masih bertahan untuk melakukan semua kerja keras ini. Bangun melawan rasa kantuk untuk mengerjakan skripsi di tengah padatnya aktivitas adalah sebuah pencapaiannya yang baik, terima kasih atas air mata, keringat yang menjadi penyemangat dan penguat dalam menjalani kehidupan. Terima kasih karna selalu berusaha memberikan yang terbaik.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun diperlukan dalam penulisan selanjutnya. Akhirnya, penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat dalam pengembangan wawasan bidang ilmu statistika dan menjadi berkat untuk penulis dan pembaca.

Makassar 25 Januari 2023

Rael Hofni Tandirerung

PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai civitas akademik Universitas Hasanuddin, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rael Hofni Tandirerung
NIM : H051181308
Program Studi : Statistika
Departemen : Statistika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Hasanuddin **Hak Bebas Royalti Non-ekslusif** (*Non-exclusive Royalty- Free Right*) atas tugas akhir saya yang berjudul:

**“Penerapan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) Dalam
Meramalkan Curah Hujan Di Kabupaten Maros”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Terkait dengan hal di atas, maka pihak universitas berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Makassar pada tanggal 25 Januari 2023

Yang menyatakan



(Rael Hofni Tandirerung)

ABSTRAK

Metode *adaptive neuro fuzzy inference system* atau ANFIS merupakan gabungan hybrid dari metode *fuzzy time series* dan jaringan syaraf tiruan. Algoritma ini memetakan data *input* pada lapisan masukan menuju target pada lapisan *output* melalui *neuron-neuron* pada lapisan tersembunyi. Prinsip kerja ANFIS memiliki lapisan-lapisan yang berfungsi sebagai *input* dan *output*. Metode ANFIS dapat meramalkan berbagai jenis data *time series*, seperti yang digunakan pada penelitian ini yaitu data harian curah hujan dari tanggal 1 Januari 2018 sampai tanggal 31 Desember 2018 di Kabupaten Maros. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh hasil peramalan curah hujan menggunakan metode ANFIS di Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan. Pada penelitian ini terbagi atas data training dan data testing dengan perbandingan 80:20 (292 data *train* dan 73 data *test*) Kemudian didapatkan hasil peramalan menggunakan 73 data uji yaitu periode tanggal 20 Oktober - 31 Oktober yang diperoleh nilai sebesar 0.384% dari perhitungan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) dengan kategori peramalan sangat baik. Untuk koefisien korelasi antara hasil peramalan dan data aktual diperoleh sebesar 0.99 dengan kategori hubungan korelasi sangat kuat. Jadi, dapat disimpulkan bahwa metode ANFIS dapat meramalkan curah hujan di Kabupaten Maros dengan tingkat akurasi yang baik.

Kata Kunci: Curah Hujan, *Fuzzy Time Series*, *Generalized Bell*, *Fuzzy Inference System*, Jaringan Syaraf Tiruan, ANFIS

ABSTRACT

The Adaptive Neuro Fuzzy Inference System method or commonly called ANFIS is a hybrid method of the fuzzy time series and artificial neural networks methods. This algorithm can show the way to the input data through input layer to the target in output layer via neurons in the hidden layer. The way principle of ANFIS is to have layers that function as input and output. The ANFIS method can predict various types of time series data, as used in this study, called daily rainfall data from January 1st 2018 to December 31th 2018 in Maros Regency. This study aims to obtain the results of rainfall forecasting using the ANFIS method in Maros Regency, South Sulawesi. In this study, it was divided into train data and test data with a ratio of 80:20 (292 train data and 73 test data). Then the results of forecasting using 73 test which is the period of October 20th to December 31th that obtained a value of 0.384% from the MAPE calculation with a very good forecasting category. For the correlation coefficient between forecasting results and actual data obtained at 0.99 with a very strong correlation category. So, it can be concluded that the ANFIS method can predict rainfall in Maros Regency with a very good level of accuracy.

Keywords: *Rainfall, Fuzzy Time Series, Generalized Bell, Fuzzy Inference System, Neural Network, ANFIS*

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	1
HALAMAN JUDUL	2
LEMBAR PERNYATAAN KEOTENTIKAN	3
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	4
HALAMAN PENGESAHAN	5
KATA PENGANTAR.....	6
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	9
DAFTAR ISI.....	12
DAFTAR GAMBAR.....	14
DAFTAR TABEL.....	15
DAFTAR LAMPIRAN	16
BAB I PENDAHULUAN	17
1.1 Latar Belakang	17
1.2 Rumusan Masalah	19
1.3 Tujuan Penelitian	19
1.4 Batasan Masalah.....	20
1.5 Manfaat Penelitian	20
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	21
2.1 Jaringan Syaraf Tiruan	21
2.2 Logika <i>Fuzzy</i>	23
2.3 Himpunan <i>Fuzzy</i>	24
2.4 Fungsi Keanggotaan.....	24
2.5 <i>Fuzzy Inference System</i>	26
2.6 <i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i>	27
2.7 Model propagasi <i>Error</i>	29
2.8 Algoritma <i>K-Means</i>	32

2.9	<i>Root Mean Square Error</i>	35
2.10	<i>Mean Absolute Percentage Error</i>	35
2.11	Analisis Korelasi	36
2.12	Curah Hujan	36
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		39
3.1	Jenis dan Sumber Data	39
3.2	Variabel Data	39
3.3	Tahapan Analisis Data	39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		44
4.1	Analisis Deskriptif	44
4.2	<i>Adaptive Neuro Fuzzy Inference System</i>	45
4.2.1.	Pengelompokkan dengan Metode <i>K-Means</i>	45
4.2.2	<i>Mean</i> Dan Standar Deviasi Derajat Keanggotaan.....	52
4.2.3	Derajat Keanggotaan <i>Generalized Bell/Output</i> Lapisan 1	54
4.2.4	Nilai Fire Strength/Output Lapisan 2	55
4.2.5	Normalized Fire Strength/Output lapisan 3	56
4.2.6	Parameter Konsekuen dengan <i>Least Square Estimator</i>	56
4.2.7	<i>Output</i> lapisan 4	59
4.2.8	<i>Output</i> lapisan 5	59
4.2.9	Model Propagasi <i>Error</i>	60
4.2.10	Memperbaharui Nilai Parameter Premis	62
4.2.11	Peramalan Data Terhadap Nilai RMSE	66
BAB V PENUTUP		71
5.1	Kesimpulan	71
5.2	Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA		72
LAMPIRAN.....		74

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Neuron JST	21
Gambar 2.2 Model Neuron Sederhana	22
Gambar 2.3 Kurva Fungsi Keanggotaan Triangular	25
Gambar 2.4 Kurva Fungsi Keanggotaan Trapezoidal	25
Gambar 2.5 Kurva Fungsi Keanggotaan Gaussian	26
Gambar 2.6 Kurva Fungsi Keanggotaan Generalized Bell	26
Gambar 4. 1 Plot Data Curah Hujan Kabupaten Maros tahun 2018	44
Gambar 4. 2 Plot Hasil Peramalan Curah Hujan Di Kabupaten Maros	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Korelasi.....	36
Tabel 4. 1 Statistika Deskriptif Curah Hujan	44
Tabel 4.2 Data Curah Hujan Dasarian tahun 2018.....	45
Tabel 4.3 Data Curah Hujan Tahun 2018 Hasil Normalisasi	46
Tabel 4.4 Pusat Cluster Awal	47
Tabel 4.5 Hasil Iterasi Pertama Penentuan Nilai Cluster	48
Tabel 4.6 Pusat Cluster Baru untuk Iterasi Kedua	49
Tabel 4.7 Hasil Iterasi Kedua Penentuan Nilai Cluster	49
Tabel 4.8 Hasil Iterasi Ketiga Penentuan Nilai Cluster.....	50
Tabel 4.9 Hasil Iterasi Keempat Penentuan Nilai Cluster	50
Tabel 4.10 Hasil Iterasi Kelima Penentuan Nilai Cluster.....	51
Tabel 4.11 Hasil Iterasi Keenam Penentuan Nilai <i>Cluster</i>	51
Tabel 4.12 Hasil Cluster yang Terbentuk Dari Hasil Iterasi Tahun 2018	53
Tabel 4.13 Nilai Mean Variabel setiap Cluster	53
Tabel 4.14 Nilai Standar Deviasi Variabel setiap Cluster	54
Tabel 4.15 Nilai Transpose (A^T)	57
Tabel 4.16 Hasil perkalian matriks transpose dan matriks desain ($A^T A$)	57
Tabel 4.17 Nilai Invers Matriks ($A^T A$).....	57
Tabel 4.18 Parameter Konsekuensi.....	58
Tabel 4.19 Nilai f setiap Cluster.....	59
Tabel 4.20 Output Jaringan dan Output Aktual Pada Tahun 2018.....	60
Tabel 4.21 Propagasi Error Lapisan 4	61
Tabel 4.22 Nilai Rata-rata tiap Variabel Input	62
Tabel 4.23 Nilai Error Parameter Mean	63
Tabel 4.24 Nilai Error Parameter Standar Deviasi	63
Tabel 4.25 Nilai Perubahan Parameter Mean.....	64
Tabel 4.26 Nilai Perubahan Parameter Standar Deviasi	64
Tabel 4.27 Nilai Parameter Mean Baru	65
Tabel 4.28 Nilai Parameter Standar Deviasi Baru.....	65
Tabel 4.29 Nilai RMSE Pada Pengujian	66
Tabel 4.30 Jumlah Iterasi terhadap RMSE.....	67
Tabel 4.31 Jumlah Learning Rate terhadap RMSE	68
Tabel 4.32 Hasil Peramalan Curah Hujan Di Kabupaten Maros.....	69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Aktual Curah Hujan	75
Lampiran 2 Tabel Data Curah Hujan Dasarian Kabupaten Maros Tahun 2018 .	76
Lampiran 3 Data Curah Hujan Hasil Normalisasi Tahun 2018	77
Lampiran 4 Iterasi Pertama Pada Pengelompokkan K-Means	78
Lampiran 5 Iterasi Kedua Pada Pengelompokkan K-Means.....	79
Lampiran 6 Iterasi Ketiga Pada Pengelompokkan K-Means	80
Lampiran 7 Iterasi keempat Pada Pengelompokkan K-Means	81
Lampiran 8 Iterasi Kelima Pada Pengelompokkan K-Means	82
Lampiran 9 Iterasi Keenam Pada Pengelompokkan K-Means.....	83
Lampiran 10 Hasil Cluster yang Terbentuk Pada Pengelompokkan K-Means...	84
Lampiran 11 Output Lapisan 1/Derajat Keanggotaan.....	85
Lampiran 12 Output Lapisan 2/Nilai Fire Strength.....	86
Lampiran 13 Output Lapisan 3/Normalized Fire Strength.....	87
Lampiran 14 Matriks Desain A Pada Perhitungan Parameter Konsekuensi.....	88
Lampiran 15 Nilai f setiap Cluster	89
Lampiran 16 Output Lapisan 4.....	90
Lampiran 17 Output Lapisan 5.....	91
Lampiran 18 Propagasi Error Lapisan 5.....	92
Lampiran 19 Propagasi Error Lapisan 3.....	93
Lampiran 20 Propagasi Error Lapisan 2.....	94
Lampiran 21 Propagasi Error Lapisan 1.....	95
Lampiran 22 Hasil Prediksi Curah Hujan Di Kabupaten Maros Tahun 2018.....	96
Lampiran 23 Syntax dan Output Pengujian untuk Hasil Prediksi Curah Hujan .	98

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia terletak di antara dua samudra besar, yakni Samudra Pasifik di sebelah timur laut dan Samudra Indonesia di sebelah barat daya. Kedua samudra ini merupakan sumber udara lembab yang banyak mendatangkan hujan bagi wilayah Indonesia. Pola hujan di Indonesia juga dipengaruhi oleh keberadaan dua benua yang mengapit Indonesia, yakni Benua Asia dan Benua Australia. Kedua benua ini sangat mempengaruhi pergerakan angin di wilayah Indonesia, karena arah angin sangat penting peranannya dalam mempengaruhi pola curah hujan (Tukidi, 2010).

Secara khusus di Sulawesi Selatan, berdasarkan kesamaan relatif zona iklimnya dibagi menjadi 3 bagian, yaitu sektor barat, timur dan peralihan. Sektor barat dipengaruhi oleh angin barat, dan sektor timur dipengaruhi oleh angin timur yang sangat erat hubungannya dengan musim hujan dan musim kemarau. Di bagian barat, yaitu Kabupaten Maros, Pangkep, Barru, Kota Pare-pare, Kota Makassar, Gowa, Takalar, Jeneponto dan Selayar, memiliki musim hujan yang berlangsung bulan Oktober sampai dengan Maret di tiap tahunnya, dan secara bersamaan di sektor timur berlangsung musim kemarau. Zona iklim sektor timur meliputi wilayah yang sebagian besar berada di bagian timur Sulawesi Selatan yaitu Kabupaten Bone, Soppeng, Wajo, Sinjai, Bulukumba, Bantaeng, Sidenreng Rappang, dan Pinrang. Musim hujan di wilayah sektor timur berlangsung bulan April hingga September, dan sementara itu di sektor barat berlangsung musim kemarau. Sektor peralihan merupakan wilayah peralihan antara sektor barat dan timur meliputi kabupaten Tana Toraja, Toraja Utara, Luwu, Luwu utara, Luwu timur, Enrekang dan Kota Palopo. Wilayah peralihan antara sektor barat dan timur meliputi Kabupaten Tana Toraja, Toraja Utara, Luwu, Luwu utara, Luwu timur, Enrekang dan kota Palopo (Herniwati dan Kadir, 2009). Dengan demikian, metode peramalan terhadap curah hujan merupakan hal yang sangat penting untuk mengetahui keakuratan data curah hujan yang didapatkan.

Metode peramalan memiliki banyak jenis dan tingkat keakuratan yang berbeda-beda. Metode *Fuzzy Time Series* misalnya yang telah banyak digunakan oleh beberapa peneliti. *Fuzzy Time Series* merupakan suatu metode peramalan data

yang menggunakan prinsip *fuzzy* sebagai dasarnya. Melakukan peramalan menggunakan metode *fuzzy time series* dapat menangkap pola dari data yang lalu (*data time series*) kemudian data tersebut digunakan untuk memproyeksikan data yang akan datang. Konsep dasar *fuzzy* awalnya dikembangkan oleh L. Zadeh yang kemudian dikembangkan oleh Song dan Chissom pada tahun 1993 (Vita, dkk., 2021). Dalam pengembangannya, logika *fuzzy* yang terdapat pada *fuzzy time series* dapat dikolaborasikan untuk meramalkan suatu kondisi seperti metode jaringan syaraf tiruan. Metode jaringan syaraf tiruan merupakan algoritma klasifikasi yang meniru prinsip kerja dari jaringan syaraf manusia. Algoritma ini memetakan data masukan pada lapisan masukan menuju target pada lapisan keluaran melalui neuron-neuron pada lapisan tersembunyi. Metode jaringan syaraf tiruan dan *fuzzy time series* ini dapat dikolaborasi menjadi metode peramalan yang dikenal dengan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*.

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System adalah jaringan adaptif yang diadaptasikan dari penggunaan tripologi jaringan syaraf tiruan yang bekerja sama dengan logika *fuzzy*. Karena *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* menggabungkan jaringan syaraf tiruan dengan logika *fuzzy*, maka ANFIS dapat menangani masalah kompleks dan memberikan hasil yang optimum. Dalam adaptasi dari tripologi jaringan syaraf tiruan, prinsip kerja *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* memiliki lapisan-lapisan yang dimana berfungsi sebagai *input* dan *output*. Dalam metode ANFIS sendiri digunakan fungsi keanggotaan *Generalized Bell* untuk memetakan kelompok/*cluster* untuk mempermudah iterasi menghitung suatu fungsi keanggotaan pada suatu lapisan. Kemudian untuk menghitung nilai *error* dari tiap lapisan digunakan perhitungan *error backpropagation*. Fungsi *error backpropagation* yaitu menghitung nilai *error* yang terdapat pada setiap lapisan untuk melakukan *update* parameter-parameter ANFIS (Fatkhurrozi, dkk., 2012).

Sebelumnya sudah beberapa kali dilakukan penelitian terkait metode ANFIS seperti yang dilakukan oleh Santika, Mahmudy dan Naba (2017) tentang peramalan beban listrik dengan menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*. kemudian pada penelitian selanjutnya dilakukan oleh Wahyuni, Mahmudy dan Iriany (2017) tentang prediksi curah hujan menggunakan hybrid *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* dan Algoritma Genetika, untuk jaringan

syaraf tiruan dan *fuzzy* ada beberapa penelitian yang pernah dilakukan, contohnya jaringan syaraf tiruan untuk memprediksi laju pertumbuhan penduduk menggunakan metode *Backpropagation* dan Penerapan *fuzzy inference system* dengan metode Tsukamoto untuk memprediksi curah hujan di Kabupaten Maros oleh Hana Meisaria P pada tahun 2021.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa metode jaringan syaraf tiruan dan metode *fuzzy time series*, keduanya memiliki tingkat akurasi yang baik dalam meramalkan suatu data deret waktu dengan beberapa variabel input. Metode ANFIS juga memiliki struktur yang kompleks dan merupakan kombinasi dari Jaringan Syaraf Tiruan (*Artificial Neural Network*) dan Logika Fuzzy (*Fuzzy Inference System*) yaitu terdiri dari beberapa lapisan yang memerlukan variabel input dan variabel *output*. Dalam hal ini, data curah hujan di Kabupaten Maros merupakan data historis deret waktu yang memiliki beberapa variabel yang dibutuhkan dalam menghitung lapisan-lapisan pada struktur metode ANFIS untuk memperoleh hasil peramalan yang diharapkan. Sehingga, pada penelitian ini peneliti ingin melakukan peramalan pada data curah hujan di Kabupaten Maros pada tahun 2018 dalam bentuk data harian menggunakan metode ANFIS dengan mengangkat judul “Penerapan Metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* dalam Meramalkan Curah Hujan di Kabupaten Maros”.

1.2 Rumusan Masalah

Bagaimana memperoleh hasil peramalan curah hujan di Kabupaten Maros dengan menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*?

1.3 Tujuan Penelitian

Memperoleh hasil peramalan curah hujan di Kabupaten Maros menggunakan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Data yang digunakan dalam penelitian adalah data curah hujan BMKG UPT Stasiun Klimatologi Maros dari tanggal 1 Januari 2018 hingga 31 Desember 2018.
2. Fungsi keanggotan yang digunakan yaitu *Generalized Bell*.
3. Variabel yang digunakan yaitu suhu, kelembaban udara relatif, dan kecepatan angin sebagai variabel *input* dan curah hujan sebagai variabel *output*.
4. Pengolahan data dalam penelitian ini menggunakan *Software Netbeans 8.2*

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui kemampuan metode *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* dalam meramalkan curah hujan.
2. Menambah pemahaman penulis dan pembaca tentang penerapan *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* untuk meramalkan curah hujan.

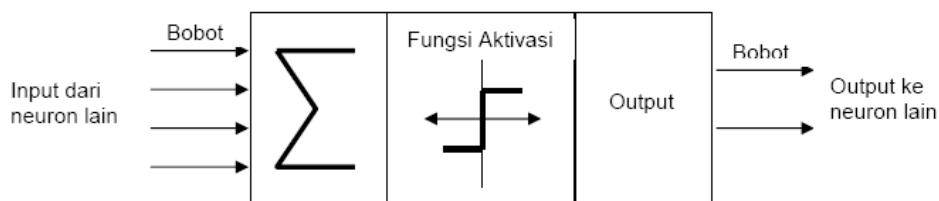
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jaringan Syaraf Tiruan

Jaringan Syaraf Tiruan merupakan pemodelan data yang kuat yang mampu menangkap dan mewakili hubungan *Input-Output* yang kompleks, karena kemampuannya untuk memecahkan beberapa masalah, relatif mudah digunakan, ketahanan untuk menginput data kecepatan untuk eksekusi, dan menginisialisasikan sistem yang rumit. Jaringan Syaraf Tiruan (JST) merupakan suatu sistem pemrosesan informasi yang mempunyai karakteristik menyerupai jaringan syaraf biologis. Jaringan Syaraf Tiruan tercipta sebagai suatu generalisasi model matematis dari pemahaman manusia (*human cognition*).

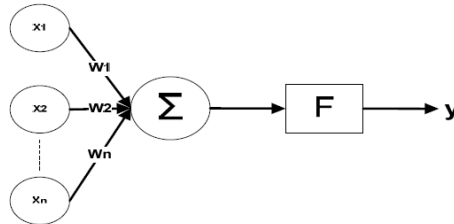
Seperti halnya otak manusia, jaringan syaraf juga terdiri dari beberapa neuron, dan terdapat hubungan antara neuron-neuron tersebut. Pada prinsip kerjanya, neuron-neuron akan mentransformasikan informasi yang diterima melalui sambungan keluarannya menuju ke neuron yang lain. Pada jaringan syaraf, hubungan ini dikenal dengan nama bobot. Informasi tersebut tersimpan pada suatu nilai tertentu pada bobot tersebut yang akan mendapat redundansi data. Kemudian diproses oleh suatu fungsi perambatan yang akan menjumlahkan nilai-nilai semua bobot yang akan datang. Hasil penjumlahan ini kemudian dibandingkan dengan sebuah Informasi yang disebut dengan masukan yang dikirim ke neuron dengan bobot kedatangan tertentu. Masukan ini terdapat nilai ambang (*threshold*) yang berjalan melalui fungsi aktivasi setiap neuron.



Gambar 2.1 Struktur Neuron JST

Pada jaringan syaraf, neuron-neuron akan dikumpulkan dalam lapisan-lapisan yang disebut dengan lapisan neuron. Biasanya neuron pada satu lapisan akan dihubungkan dengan lapisan sebelum atau sesudahnya terkecuali lapisan

masukkan dan lapisan keluaran. Informasi yang diberikan pada jaringan syaraf akan dirambatkan dari lapisan ke lapisan, melalui dari lapisan masukkan sampai lapisan keluaran melalui lapisan tersembunyi (Sudarsono, 2016).



Gambar 2.2 Model Neuron Sederhana

Algoritma pembelajaran menentukan informasi akan dirambatkan kearah mana, Gambar 2.2 menunjukkan neuron jaringan syaraf sederhana dengan fungsi aktivasi F. Gambar 2.2 sebuah neuron akan mengolah *inputan* ($X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$) yang masing-masing memiliki bobot $W_1, W_2, W_3, \dots, W_n$ dengan rumus:

$$y_{in} = F(x_i, w_i) = \sum_{i=1}^n x_i w_i \quad (2.1)$$

i = input ke- ($i = 1, 2, 3, \dots, p$)

p = jumlah *input*

y_{in} = Fungsi aktivasi F

x_i = input ke- i

w_i = bobot dari input ke- i

Secara umum, proses pemodelan JST terbagi menjadi dua bagian, yaitu proses *training* dan proses *testing*. Proses *training* merupakan proses pembelajaran dari sistem jaringan saraf yang mengatur nilai *input* serta bagaimana pemetaanya pada *output* sampai diperoleh model yang sesuai. Data *training* adalah data yang akan dipakai dalam melakukan pembelajaran sedangkan data *testing* adalah data yang belum pernah dipakai sebagai pembelajaran dan akan berfungsi sebagai data pengujian kebenaran atau keakurasian hasil pembelajaran (Suherman dan Muzaky, 2019).

Dalam setiap lapisan pada jaringan saraf tiruan, nilai *input* ditransformasi kedalam lapisan secara nonlinear oleh elemen-elemen proses dan kemudian diproses maju ke lapisan berikutnya. Kemudian, pada akhir sesi nilai-nilai *output* $\hat{y}$, yang dapat berupa nilai-nilai skalar atau vektor, dihitung pada lapisan *output* dengan persamaan berikut:

$$\hat{y}(k) = f^o \left[\sum_{j=1}^q v_j^o f_j^h \left(\sum_{i=1}^p w_{j,i}^h x_{i(k)} + b_j^h \right) + b^o \right] \quad (2.2)$$

Keterangan:

k = indeks pasangan data *input*-target ($x_{i(k)}, \hat{y}(k)$) dengan $k = 1, 2, \dots, n$

dan n = pola

i = *input* ke- ($i = 1, 2, 3, \dots, p$), dengan p = jumlah *input*

j = neuron ke- $j = 1, 2, 3, \dots, q$, dengan q = jumlah node lapisan tersembunyi

h = lapisan tersembunyi ke- $h = 1, 2, 3, \dots, r$, dengan r = jumlah lapisan tersembunyi

$\hat{y}(k)$ = nilai dugaan dari peubah *output*

f^o = fungsi aktivasi pada neuron di lapisan *output*

v_j^o = bobot dari neuron ke- j dilapisan tersembunyi menuju neuron *output*

f_h^j = fungsi aktivasi di neuron ke- j pada lapisan tersembunyi

$w_{j,i}^h$ = bobot dari *input* ke- i yang menuju neuron ke- j pada lapisan tersembunyi

$x_{i(k)}$ = perubahan *input* ke- i

b_j^h = bias pada neuron ke- j pada lapisan tersembunyi

2.2 Logika Fuzzy

Definisi logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output*. Cara memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output* dapat digunakan beberapa cara, di antaranya sistem *fuzzy*, sistem linear, jaringan syaraf, persamaan differensial. dari sekian banyak cara yang telah disebutkan, cara yang lebih cepat dan lebih murah adalah dengan menggunakan sistem *fuzzy* (Rohayani, 2013).

Logika *fuzzy* juga merupakan logika yang berhadapan dengan konsep kebenaran sebagian, dimana logika klasik menyatakan bahwa segala hal dapat di ekspresikan dalam istilah *binary* (0 atau 1). Logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1. Berbagai teori didalam perkembangan logika *fuzzy* menunjukkan bahwa pada dasarnya logika *fuzzy* dapat digunakan untuk memodelkan berbagai sistem. Logika *fuzzy* dianggap mampu untuk memetakan suatu input kedalam suatu *output* tanpa mengabaikan faktor – faktor yang ada.

Dengan berdasarkan logika *fuzzy*, akan dihasilkan suatu model dari suatu sistem yang mampu memperkirakan jumlah produksi (Djunaidi, dkk., 2005).

2.3 Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*. Pada himpunan tegas (*crisp*), nilai keanggotaan suatu item x dalam suatu himpunan A , yang sering ditulis dengan $\mu_A[x]$ memiliki dua kemungkinan, yaitu (Farida dan Candra, 2013):

1. Satu (1), yang berarti bahwa suatu item menjadi anggota dalam satu himpunan
2. Nol (0) yang berarti bahwa suatu item tidak menjadi anggota dalam suatu himpunan. Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy*, yaitu

1. Variabel *fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*. Contoh: umur, temperatur, permintaan, dan lain-lain.

2. Semesta pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*.

3. Domain

Keseluruhan nilai yang diizinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*.

2.4 Fungsi Keanggotaan

Dalam sistem *fuzzy*, fungsi keanggotaan memiliki peranan yang cukup penting untuk merepresentasikan masalah. Fungsi keanggotaan adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data kedalam nilai keanggotaannya (Navianti, dkk., 2013). Ada beberapa fungsi yang dapat digunakan melalui pendekatan fungsi untuk mendapatkan nilai keanggotaan, yaitu:

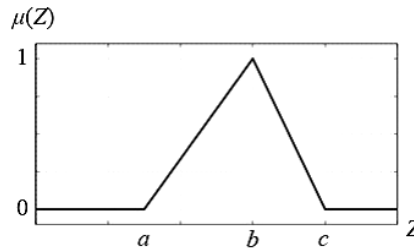
1. Fungsi keanggotaan *Triangular*

Fungsi keanggotaan *Triangular* terbentuk oleh tiga parameter, yaitu a,b,dan c :

Dimana: $a < b < c$

$$\mu(Z) = \begin{cases} 0, & Z \leq a \text{ atau } Z \geq c \\ \frac{(Z - a)}{(b - a)} & a \leq Z \leq b \\ \frac{(b - Z)}{(c - b)} & b \leq Z \leq c \end{cases} \quad (2.3)$$

Kurva fungsi keanggotaan *Triangular* dapat diliht pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Kurva Fungsi Keanggotaan *Triangular*

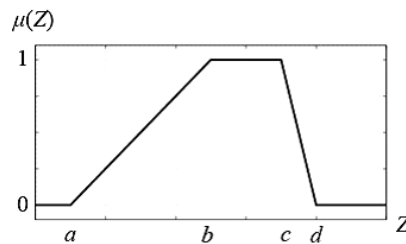
2. Fungsi Keanggotaan *Trapezodial*

Fungsi keanggotaan *Trapezodial* terbentuk oleh empat parameter a, b, c, dan d

Dimana: $a < b < c$

$$\mu(Z) = \begin{cases} 0 & Z \leq a \text{ atau } Z \geq d \\ \frac{(Z - a)}{(b - a)} & a \leq Z \leq b \\ 1 & b \leq Z \leq c \\ \frac{(b - Z)}{(c - b)} & c \leq Z \leq d \end{cases} \quad (2.4)$$

Kurva fungsi keanggotaan *Trapezoidal* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



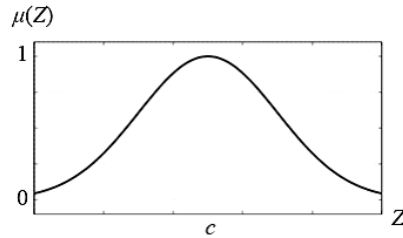
Gambar 2.4 Kurva Fungsi Keanggotaan *Trapezoidal*

3. Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

Fungsi keanggotaan *Gaussian* terbentuk oleh dua parameter: σ dan c sebagai berikut:

$$\mu(Z) = e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{Z-c}{\sigma}\right)^2} \quad (2.5)$$

Kurva fungsi keanggotaan *Gaussian* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Kurva Fungsi Keanggotaan *Gaussian*

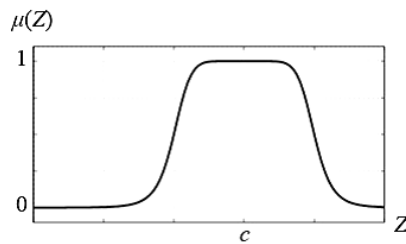
4. Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

Fungsi keanggotaan *generalized bell* terbentuk oleh tiga parameter: a , b dan c , sebagai berikut:

Dimana c adalah pusat data

$$\mu(Z) = \frac{1}{1 + \left|\frac{Z-c}{a}\right|^{2b}} \quad (2.6)$$

Kurva Fungsi keanggotaan *generalized bell* dapat dilihat pada Gambar 2.6



Gambar 2.6 Kurva Fungsi Keanggotaan *Generalized Bell*

2.5 Fuzzy Inference System

Sistem Inferensi *Fuzzy* (*Fuzzy Inference System/FIS*) disebut juga *fuzzy inference engine* adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya. Sistem Inferensi *Fuzzy* (*Fuzzy Inference System/FIS*) disebut juga *fuzzy inference engine* adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa seperti manusia melakukan penalaran dengan nalurinya (Harefa, 2017). Sistem inferensi *fuzzy* pada

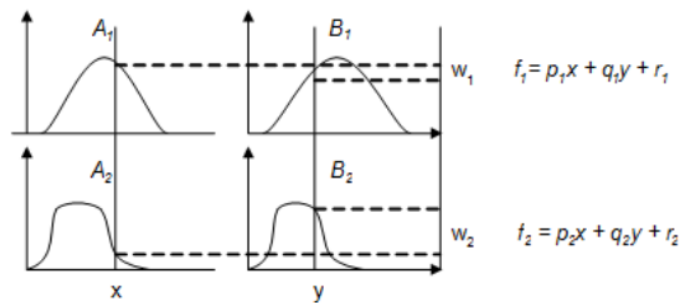
dasarnya mendefinisikan pemetaan nonlinear dari vektor *input* menjadi skala *output*. Proses pemetaan melibatkan *input-output* fungsi keanggotaan, operator-operator *fuzzy*, aturan *fuzzy IF-THEN*, agregasi dari himpunan *output*.

2.6 Adaptive Neuro Fuzzy Inference System

Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) adalah jaringan yang berbasis pada *system inference fuzzy*. Parameter ANFIS dapat dipisahkan menjadi dua, yaitu parameter premis dan konsekuen yang dapat diadaptasikan dengan *petrainan hybrid*. Pelatihan *hybrid* dilakukan dalam dua langkah, yaitu langkah maju dan langkah mundur. ANFIS adalah salah satu pendekatan penggabungan sistem *Neuro-Fuzzy* di mana mekanisme sistem inferensi *fuzzy* digambarkan dalam suatu arsitektur jaringan syaraf. Sistem inferensi *fuzzy* yang digunakan adalah sistem *fuzzy* model TSK (Takagi-Sugeno-Kang) orde satu dengan pertimbangan kesederhanaan serta kemudahan komputasi. Pada sistem inferensi *fuzzy* TSK orde satu dengan dua masukan dan satu keluaran, aturan yang biasanya digunakan adalah (Wiranto, dkk., 2019):

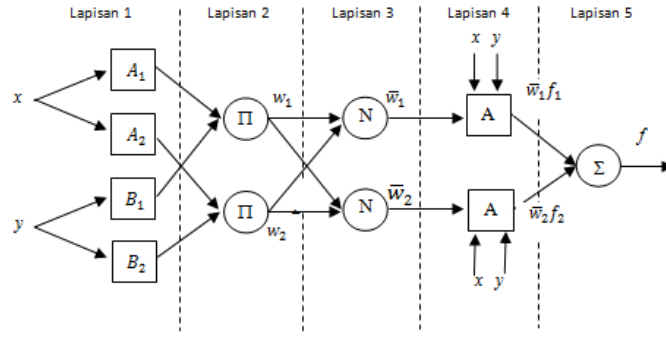
$$\text{Aturan 1: if } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ then } f_1 = p_1x + q_1y + r_1 \quad (2.7)$$

$$\text{Aturan 2: if } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ then } f_2 = p_2x + q_2y + r_2 \quad (2.8)$$



Gambar 2.7 ANFIS Sugeno Orde Satu

Struktur ANFIS yang menggambarkan sistem *fuzzy* TSK dalam suatu arsitektur jaringan syaraf *Feed Forward*, ekuivalen dengan Gambar 2.7 terlihat di Gambar 2.8



Gambar 2.8 Arsitektur Jaringan ANFIS

Berdasarkan Gambar 2.8 terlihat sistem *neuro-fuzzy* terdiri dari lima lapisan. Tiap lapisan terdiri dari beberapa simpul yang dilambangkan dengan kotak atau lingkaran. Lambang lingkaran pada struktur ANFIS melambangkan simpul tetap dengan parameter yang tidak berubah sedangkan lambang kotak melambangkan simpul adaptif dengan parameter yang berubah. Secara umum kelima lapisan struktur ANFIS dapat dijelaskan sebagai berikut:

1.) Lapisan 1, setiap simpul i pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi:

$$\begin{aligned} o_{1,i} &= \mu_{A_i}(x) \text{ untuk } i = 1,2 \text{ dan} \\ o_{1,i} &= \mu_{B_{i-2}}(x) \text{ untuk } i = 3,4 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Dengan x atau y merupakan masukan terhadap simpul i , dan A_i (atau B_{i-2}) merupakan label *linguistik* (seperti “kecil” atau “besar”) yang diasosiasikan dengan simpul tersebut. Dengan kata lain, $o_{1,i}$ adalah derajat keanggotaan $A=(A_1, A_2, B_1, \text{ atau } B_2)$ dan menentukan derajat keanggotaan dari masukan x atau y . fungsi keanggotaan yang digunakan adalah fungsi *generalized bell*:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{\alpha_i} \right|^{2b}} \quad (2.10)$$

Dengan $\{\alpha_i, b_i, c_i\}$ adalah himpunan parameter. Parameter pada lapisan disebut parameter premis.

2.) Lapisan 2, setiap simpul pada lapisan ini adalah simpul tetap yang dilambangkan dengan Π . Keluarannya merupakan hasil operasi *fuzzy AND* (Operator *T-Norm*) semua sinyal yang masuk.

$$o_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(x) \mu_{B_i}(y), i = 1,2 \quad (2.11)$$

Keluaran setiap simpul merepresentasikan derajat pengaktifan tiap aturan *fuzzy*. Banyaknya simpul pada lapisan ini menyatakan banyaknya aturan yang dibentuk.

3.) Lapisan 3, setiap simpul pada lapisan ini merupakan lapisan tetap yang diberi lambing N . Simpul ke- i menghitung rasio antara derajat pengaktifan ke- i terhadap jumlah seluruh derajat pengaktifan aturan setiap simpul.

$$O_{3,i} = \bar{w}_i = \frac{w_i}{w_1 + w_2} \quad (2.12)$$

Keluaran dari lapisan ini disebut normalisasi derajat pengaktifan (*normalized firing strengths*).

4.) Lapisan 4, simpul-simpul pada lapisan ini adalah simpul adaptif dengan fungsi simpul:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i f_i = \bar{w}_i (c_{11}x_1 + c_{i2}x_2 + c_{i0}) \quad (2.13)$$

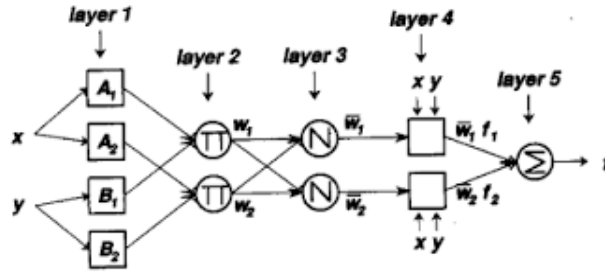
Dengan $\bar{w}_i$ adalah normalisasi derajat pengaktifan dari lapisan ketiga dan $\{p_i, q_i, r_i\}$ adalah himpunan parameter dari simpul tersebut. Parameter pada lapisan ini disebut parameter konsekuen.

Lapisan 5, simpul tunggal pada lapisan ini merupakan simpul tetap yang diberi label Σ yang menjumlahkan semua sinyal masukan dari lapisan sebelumnya sebagai keluaran terakhir dari ANFIS. Persamaan fungsi pada lapisan ini adalah:

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \quad (2.14)$$

2.7 Model propagasi Error

Jaringan adaptif di *train* untuk mendapatkan nilai parameter a dan c . Untuk melakukan perbaikan terhadap a dan c tersebut, digunakan model propagasi *error* dengan konsep *steepest descent*. Pada arsitektur metode ANFIS terdapat lima lapisan. Pada setiap lapisan dalam arsitektur ANFIS memiliki rumus *error* masing-masing untuk masing-masing lapisannya. Pada gambar berikut merupakan struktur ANFIS yang akan dicari rumus-rumus *error* pada tiap lapisan (Harahap dan Endah, 2019).



Gambar 2.9 Arsitektur ANFIS

1) *Error* pada lapisan 5

Apabila kita memilih jaringan adaptif seperti pada Gambar 2.9, yang hanya memiliki 1 neuron pada lapisan *output* (neuron 13), maka propagasi *error* yang menuju pada lapisan ke-5 seperti pada Persamaan 2.15.

$$\varepsilon_{13} = \frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} = -2(d_{13} - x_{13}) = -2(y_p - y'_p) \quad (2.15)$$

Dengan y_p adalah target *output* data petrainan ke- p , dan y'_p adalah *output* jaringan pada data petrainan ke- p .

2) *Error* pada lapisan 4

Berdasarkan jaringan adaptif pada Gambar 2.9, propagasi *error* yang menuju pada lapisan ke-4, yaitu neuron 11 dan neuron 12 adalah seperti pada Persamaan 2.16 dan Persamaan 2.17.

$$\varepsilon_{11} = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) = \varepsilon_{13} \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) = \varepsilon_{13}(1) = \varepsilon_{13} \quad (2.16)$$

Karena $f_{13} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2$, maka $\frac{\partial f_{13}}{\partial (\bar{w}_2 f_2)} = 1$.

$$\varepsilon_{12} = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) = \varepsilon_{13} \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) = \varepsilon_{13}(1) = \varepsilon_{13} \quad (2.17)$$

Karena $f_{13} = \bar{w}_1 f_1 + \bar{w}_2 f_2$, maka $\frac{\partial f_{13}}{\partial (\bar{w}_2 f_2)} = 1$.

3) *Error* pada lapisan 3

Berdasarkan jaringan adaptif pada Gambar 2.9, propagasi *error* yang menuju lapisan ke-3, yaitu neuron 9 dan neuron 10 seperti pada Persamaan 2.18 dan Persamaan 2.19.

$$\varepsilon_9 = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) = \varepsilon_{11} \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) = \varepsilon_{11} f_{11} \quad (2.18)$$

dan

$$\varepsilon_{10} = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) = \varepsilon_{12} \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) = \varepsilon_{12} f_{12} \quad (2.19)$$

4) Error pada lapisan 2

Berdasarkan jaringan adaptif pada Gambar 2.9, propagasi *error* yang menuju pada lapisan ke-2, yaitu neuron 7 dan neuron 8 seperti pada Persamaan 2.20 dan Persamaan 2.21.

$$\varepsilon_7 = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_9} \right) \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_7} \right) + \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_{10}} \right) \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_7} \right) \quad (2.20)$$

$$= \varepsilon_9 \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_7} \right) + \varepsilon_{10} \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_7} \right)$$

$$= \varepsilon_9 \left(\frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} \right) + \varepsilon_{10} \left(-\frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} \right)$$

$$= \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} (\varepsilon_9 - \varepsilon_{10})$$

$$\varepsilon_8 = \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{12}} \right) \left(\frac{\partial f_{11}}{\partial x_{10}} \right) \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_8} \right) + \left(\frac{\partial E_p}{\partial x_{13}} \right) \left(\frac{\partial f_{13}}{\partial x_{11}} \right) \left(\frac{\partial f_{12}}{\partial x_9} \right) \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_8} \right) \quad (2.21)$$

$$= \varepsilon_{10} \left(\frac{\partial f_{10}}{\partial x_8} \right) + \varepsilon_9 \left(\frac{\partial f_9}{\partial x_8} \right)$$

$$= \varepsilon_{10} \left(\frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} \right) + \varepsilon_9 \left(-\frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} \right)$$

$$= \frac{w_2}{(w_1 + w_2)^2} (\varepsilon_{10} - \varepsilon_9)$$

5) Error pada lapisan 1

Berdasarkan jaringan adaptif pada gambar 2.9, propagasi *error* yang menuju pada lapisan ke-1, yaitu neuron 3, 4, 5, dan 6 seperti pada Persamaan 2.22, Persamaan 2.23, Persamaan 2.24, dan Persamaan 2.25.

$$\varepsilon_3 = \varepsilon_7 \left(\frac{\partial f_7}{\partial x_3} \right) = \varepsilon_7 \mu_{B1}(x_2) \quad (2.22)$$

$$\varepsilon_4 = \varepsilon_8 \left(\frac{\partial f_8}{\partial x_4} \right) = \varepsilon_8 \mu_{B2}(x_2) \quad (2.23)$$

$$\varepsilon_5 = \varepsilon_7 \left(\frac{\partial f_7}{\partial x_5} \right) = \varepsilon_7 \mu_{A1}(x_1) \quad (2.24)$$

$$\varepsilon_6 = \varepsilon_8 \left(\frac{\partial f_8}{\partial x_6} \right) = \varepsilon_8 \mu_{A1}(x_1) \quad (2.25)$$

Selanjutnya, *error* tersebut dapat digunakan untuk mencari informasi *error* terhadap parameter, seperti pada Persamaan 2.26 dan Persamaan 2.27.

$$\varepsilon_{aik} = \frac{2(x_i - c_{ik})^2}{a_{ik}^2 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_{ik}}{a_{ik}}\right)^2\right)^2} * \varepsilon_i \quad (2.26)$$

dan

$$\varepsilon_{cik} = \frac{2(x_i - c_{ik})^2}{a_{ik}^3 \left(1 + \left(\frac{x_i - c_{ik}}{a_{ik}}\right)^2\right)^2} * \varepsilon_i \quad (2.27)$$

Berdasarkan persamaan di atas, perubahan nilai parameter a_{ik} dan c_{ik} (Δa_{ik} dan Δc_{ik}) dapat ditentukan seperti pada persamaan berikut.

$$\Delta a_{ik} = \eta \varepsilon_{aik}, \text{ dan } \Delta c_{ik} = \eta \varepsilon_{aik} x_i \quad (2.28)$$

Dengan η adalah laju pembelajaran yang terletak pada interval [0,1] sehingga nilai a_{ik} dan c_{ik} yang baru dapat dihitung seperti pada persamaan berikut.

$$\Delta a_{ik} = a_{ik(lama)} + \Delta a_{ik}, \text{ dan} \quad (2.29)$$

$$\Delta c_{ik} = c_{ik(lama)} + \Delta c_{ik} \quad (2.30)$$

2.8 Algoritma K-Means

Algoritma *K-Means* adalah algoritma yang mempartisi data ke dalam *cluster-cluster* sehingga data yang memiliki kemiripan berada pada satu *cluster* yang sama dan data yang memiliki ketidaksamaan berada pada *cluster* yang lain. Dengan kata lain, metode ini berusaha untuk meminimalkan variasi antar data yang ada di dalam suatu *cluster* dan memaksimalkan variasi dengan data yang ada pada *cluster* lainnya.

K-Means merupakan salah satu algoritma dalam yang bisa digunakan untuk melakukan pengelompokan suatu data. Ada banyak pendekatan untuk membuat *cluster*, diantaranya adalah membuat aturan yang mendikte keanggotaan dalam kelompok yang sama berdasarkan tingkat persamaan diantara anggota-anggotanya. Pendekatan lainnya adalah dengan membuat sekumpulan fungsi yang mengukur beberapa properti dari pengelompokan tersebut sebagai fungsi dari beberapa parameter dari sebuah *clustering*. Metode *K-Means* adalah metode yang termasuk dalam algoritma *clustering* berbasis jarak yang membagi data ke dalam sejumlah *cluster* dan algoritma ini hanya bekerja pada atribut numerik.

Berikut merupakan langkah-langkah dalam melakukan pengelompokan data menggunakan metode *K-Means* (Gustientiedina, dkk., 2019):

1. Standarisasi/normalisasi data yang dikelompokkan (menentukan bobot dari data mentah yang telah didapatkan). Cara ini digunakan agar data memiliki skala yang sama atau reduksi data berkurang, sehingga pengelompokan stabil. Normalisasi data dilakukan dengan menggunakan persamaan seperti pada persamaan:

$$x'_{ij} = \frac{x_{ij} - xMin_j}{xMax_j - xMin_j} \quad (2.31)$$

Keterangan:

x'_{ij} = data ke- i parameter ke- j yang telah distandarisasi

$xMin_j$ = nilai min pada parameter ke- j

$xMax_j$ = nilai *max* pada parameter ke- j

x_{ij} = data ke- i parameter ke- j

2. *Clustering*/pengelompokan dengan metode *K-Means clustering*, dengan langkah-langkah sebagai berikut:
 - a. Tentukan jumlah *cluster* (k) dan nilai *threshold*.
 - b. Inisialisasi pada *cluster* dapat dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya dengan cara *random*. Pusat-pusat *cluster* diberi nilai awal dengan angka *random*.
 - c. Tempatkan setiap data/objek ke *cluster* terdekat. Kedekatan dua objek ditentukan jarak antara data dengan pusat *cluster*. Dalam tahap ini perlu dihitung jarak tiap data ke tiap pusat *cluster*. Jarak paling dekat antara satu data dengan data satu *cluster* tertentu akan menentukan suatu data masuk kedalam *cluster* yang mana. Menentukan ukuran kemiripan atau ketidakmiripan antar data dengan metode jarak *Euclidean* seperti pada Persamaan 2.32

$$d(x, y) = ||x - y||^2 = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2} \quad (2.32)$$

Keterangan:

$d(x, y)$ = ukuran ketidakmiripan

$X = (x_1, x_2, \dots, x_j)$ adalah variabel data

$Y = (y_1, y_2, \dots, y_j)$ adalah pada titik pusat *cluster*

3. Hitung kembali pusat *cluster* dengan keanggotaan *cluster* saat ini. Pusat *cluster* adalah rata-rata dari semua data dalam *cluster* tertentu. Persamaan 2.33 merupakan persamaan yang digunakan untuk pencarian nilai rata-rata.

$$C_i X_j^{(t+1)} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n + C_i X_j^{(t)}}{n + 1} \quad (2.33)$$

Keterangan:

C_i = *cluster* ke- i

x_j = variabel ke- j

t = iterasi

x_n = data *input* ke- n pada *cluster* tertentu

n = jumlah data pada *cluster* tertentu

4. Tugaskan lagi setiap objek dengan memakai pusat *cluster* yang baru. Jika pusat *cluster* sudah tidak berubah lagi, maka proses pengelompokan *cluster* selesai. Jika pusat *cluster* masih berubah, kembali lagi ke langkah ketiga sampai pusat *cluster* tidak berubah.
5. Setelah selesai, maka didapatkanlah data yang telah dikelompokkan berdasarkan *cluster*, dimana data tersebut akan dimasukkan untuk pencarian *mean* dan standar deviasi pada persamaan 2.34 dan persamaan 2.35

$$\tilde{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} \quad (2.34)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \tilde{x})^2}{(n - 1)}} \quad (2.35)$$

Keterangan:

$\tilde{x}$ = rata-rata (*mean*) setiap *cluster*

σ = standar deviasi setiap *cluster*

x_i = data *input* ke- i setiap *cluster*

n = banyaknya data setiap *cluster*

2.9 Root Mean Square Error

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan besarnya tingkat kesalahan hasil prediksi, dimana semakin kecil (mendekati 0) nilai RMSE maka hasil prediksi akan semakin akurat. Nilai RMSE dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Noor, 2018):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y}_i)^2}{N}} \quad (2.36)$$

dengan,

N = banyaknya data

y_i = *output aktual* atau target jaringan

$\bar{y}_i$ = *output prediksi* atau *output* jaringan

2.10 Mean Absolute Percentage Error

Mean Absolute Percentage Error (MAPE) merupakan suatu perhitungan yang digunakan pada hasil tertentu yang berguna mengukur seberapa akurat suatu prediksi pada hasil perhitungan tersebut. Dengan perhitungan MAPE, didapatkan nilai selisih antara nilai aktual dan nilai prediksi. Berikut adalah rumus menghitung nilai MAPE (Hudiyanti, dkk., 2019):

$$MAPE = \frac{100}{n} = \sum_{i=0}^n \left| \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \right| \quad (2.37)$$

Keterangan:

$\hat{y}_i$ = Hasil prediksi

y_i = Nilai aktual

n = banyaknya data yang diuji

Untuk mengetahui skala terbaik pada MAPE dapat dilihat pada Tabel berikut:

Skala MAPE	Intepretasi Nilai MAPE
< 10%	Model peramalan sangat baik
10 – 20 %	Model peramalan baik
20 – 50 %	Model peramalan layak
>50%	Model peramalan buruk

2.11 Analisis Korelasi

Analisis korelasi merupakan salah satu metode statistika yang berperan dalam mengukur keeratan hubungan antara dua variabel. Variabel dalam hal ini adalah objek yang diteliti atau hasil dari suatu penelitian yang ingin diketahui hubungannya. Kedua variabel yang dicari memperhatikan seberapa besar pengaruh variabel satu dengan variabel lainnya. Korelasi bisa bernilai positif atau negatif dan nilai korelasi berkisar antar -1 sampai dengan +1 yang artinya, korelasi negatif ditunjukkan dengan koefisien korelasi yang bernilai negatif begitu pula sebaliknya. kategori dan interpretasi mengenai koefisien korelasi dapat dilihat pada Tabel berikut (Astuti, 2017):

Tabel 2. 1 Koefisien Korelasi

Besar Koefisien Korelasi	Intepretasi Koefisien Korelasi
0,00	Tidak Ada Korelasi
0,01 – 0,20	Korelasi Sangat Lemah
0,21 – 0,40	Korelasi Lemah
0,41 – 0,70	Korelasi Sedang
0,71 – 0,99	Korelasi Kuat
1,00	Korelasi Sangat Kuat (hampir sempurna)

2.12 Curah Hujan

Curah hujan (mm) merupakan ketinggian air hujan yang jatuh pada tempat yang datar dengan asumsi tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Kepulauan maritim Indonesia yang berada di wilayah tropis memiliki curah hujan tahunan yang tinggi, curah hujan semakin tinggi di daerah pegunungan. Pada dasarnya curah hujan dihasilkan dari gerakan massa udara lembab ke atas. Agar terjadi gerakan ke atas, atmosfer harus dalam kondisi tidak stabil. Kondisi tidak stabil terjadi jika udara yang naik lembab dan *lapse rate* udara lingkungannya berada antara *lapse rate* adiabatik kering dan *lapse rate* adiabatik jenuh. Jadi kestabilan udara ditentukan oleh kondisi kelembaban. Karena proses konveksi,

intensitas curah hujan di wilayah tropik pada umumnya tinggi. Sementara itu di Indonesia, presentase curah hujan yang diterima bervariasi antara 8 % sampai 37 % dengan rata-rata 22 % (Mulyono, 2014). Penentuan awal musim, baik musim hujan maupun musim kemarau didasarkan pada jumlah curah hujan yang dihitung per dasarian. Menurut BMKG, Dasarian adalah rentang waktu selama 10 (sepuluh) hari. Dalam satu bulan dibagi menjadi 3 (tiga) dasarian, yaitu:

1. Dasarian I: tanggal 1 sampai dengan 10.
2. Dasarian II: tanggal 11 sampai dengan 20.
3. Dasarian III: tanggal 21 sampai dengan akhir bulan.

Terjadi nya hujan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. beberapa faktor yang mempengaruhi curah hujan sebagai berikut:

1. Suhu Udara

Suhu adalah keadaan panas dinginnya suatu udara. Daerah tropis memiliki suhu udara yang tertinggi di muka bumi, dan semakin ke kutub, suhu udaranya akan semakin rendah. Lalu jika berdasarkan datarannya, dataran rendah cenderung memiliki suhu yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan dataran tinggi. Semakin tinggi permukaan tanah, maka suhunya juga akan semakin rendah.

2. Kelembaban udara

kelembaban udara adalah kandungan uap air yang ada di dalam udara. Jumlah uap air yang ada dalam udara ini sebenarnya hanya sebagian kecil dari seluruh atmosfer. Uap air dalam atmosfer bisa berubah bentuk menjadi cair atau padat, yang pada akhirnya bisa jatuh ke bumi atau kita kenal sebagai hujan. Kelembaban udara yang cukup besar pada suatu wilayah, memberikan petunjuk bahwa udara di wilayah tersebut banyak mengandung uap air atau udara dalam keadaan basah.

3. Tekanan udara

Tekanan udara merupakan suatu tenaga yang bekerja untuk menggerakkan massa udara dalam setiap satuan luas tertentu, tenaga yang menggerakkan massa udara tersebut menekan searah gaya gravitasi bumi. Satuan tekanan udara adalah milibar (mb) atau *Hecto Pascal* (hPa). Tekanan udara dipengaruhi oleh

temperatur/suhu udara yang terjadi pada suatu tempat dan waktu, apabila temperatur udara tinggi maka volume molekul/partikel udara akan berkembang sehingga tekanan udara menjadi rendah dan berbanding sebaliknya. Tekanan udara juga merupakan salah satu parameter yang berkaitan erat dengan variasi pembentukan arah dan kecepatan angin.

4. Kecepatan Angin

Kecepatan angin merupakan gejala alam yang menyebabkan hembusan udara, untuk mengukur kecepatan angin dapat dilakukan dengan skala *beaufort*. Skala alat *beaufort* ini berada pada 0-12. Kecepatan angin adalah sebuah kuantitas atmosferik fundamental. Kecepatan angin disebabkan oleh pergerakan angin dari tekanan tinggi ke tekanan rendah, biasanya karena perubahan suhu.