

SKRIPSI

**PENERAPAN FUZZY INFERENCE SYSTEM DENGAN
METODE TSUKAMOTO UNTUK MEMPREDIKSI CURAH
HUJAN DI KABUPATEN MAROS**



Disusun dan diajukan oleh

HANA MEISARIA RETNO PERMATALIYANTI

H051171303

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

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

OKTOBER 2021

**PENERAPAN FUZZY INFERENCE SYSTEM DENGAN
METODE TSUKAMOTO UNTUK MEMPREDIKSI CURAH
HUJAN DI KABUPATEN MAROS**

SKRIPSI

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

HANA MEISARIA RETNO PERMATALIYANTI

H051171303

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

MAKASSAR

2021

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : HANA MEISARIA RETNO PERMATALIYANTI

NIM : H051171303

Program Studi : Statistika

Jenjang : Sarjana (S1)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul

**PENERAPAN *FUZZY INFERENCE SYSTEM* DENGAN METODE
TSUKAMOTO UNTUK MEMPREDIKSI CURAH HUJAN DI
KABUPATEN MAROS**

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

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 13 Oktober 2021



HANA MEISARIA RETNO PERMATALIYANTI
NIM. H051171302

**PENERAPAN FUZZY INFERENCE SYSTEM DENGAN
METODE TSUKAMOTO UNTUK MEMPREDIKSI CURAH
HUJAN DI KABUPATEN MAROS**

Disetujui Oleh:

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pertama,

Dr. Dr. Georgina Maria Tinungki, M.Si.

Sitti Sahriman, S.Si, M.Si.

NIP. 19620926 198702 2 001

NIP. 19881018 201504 2 002

Ketua Departemen Statistika

Dr. Nurtti Sunusi, S.Si., M.Si.

NIP. 19720117 199703 2002

Pada Tanggal: 13 Oktober 2021

LEMBAR PENGESAHAN

PENERAPAN FUZZY INFERENCE SYSTEM DENGAN METODE TSUKAMOTO UNTUK MEMPREDIKSI CURAH HUJAN DI KABUPATEN MAROS

Disusun dan diajukan oleh

HANA MEISARIA RETNO PERMATALIYANTI

H051171303

Telah dipertahankan dihadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Studi Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 Oktober 2021 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pertama,

Dr. Dr. Georgina Maria Tinungki, M.Si.

Sitti Sahriman, S.Si, M.Si.

NIP. 19620926 198702 2 001

NIP. 19881018 201504 2 002


Ketua Departemen Statistika
Dr. Nurwati Sunusi, S.Si., M.Si.
NIP. 19720117 199703 2002

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang senantiasa menjadi penopang dan sahabat terbaik penulis sepanjang hidupnya. Karena kebaikan, kasih dan berkat anugrah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini, dengan judul “**Penerapan *Fuzzy Inference System* dengan Metode *Tsukamoto* untuk Memprediksi Curah Hujan di Kabupaten Maros**”. Penelitian ini dimaksudkan untuk memenuhi sebagian syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains pada Departemen Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin. Penulis banyak menghadapi kendala dan masalah dalam pelaksanaan penulisan skripsi ini namun dengan kemampuan dan kekuatan yang Tuhan Yesus berikan serta bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, sehingga skripsi ini dapat selesai di waktu terbaik Tuhan.

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih untuk orangtua penulis atas cinta, doa dan dukungan moril maupun materil yang diberikan kepada penulis kepada papa **Ramli Elisa Tia’buk** dan mama **Yosephine Widayanti Sumarno** yang telah mendidik penulis dengan penuh kesabaran sampai saat ini. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada seluruh keluarga besar **Tia’buk-Sumarno** yang ada di Makassar, Mamuju, Solo dan Surabaya atas dukungan doa dan cinta kasih kehangatan keluarga. Penghargaan yang tulus dan ucapan terima kasih dengan penuh keikhlasan juga disampaikan kepada:

1. Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin dan Bapak **Dr. Eng. Amiruddin**, selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam beserta seluruh jajarannya.
2. Ibu **Dr. Nurtiti Sunusi, S.Si., M.Si**, selaku Ketua Departemen Statistika dan Bapak **Andi Kresna Jaya, S.Si., M.Si.**, selaku Sekretaris Departemen Statistika dan **segenap dosen pengajar** yang telah memberikan ilmu pengetahuan, pengalaman serta nasihat-nasihat kepada penulis, serta **Staf Akademik** yang telah banyak membantu dalam mengurus berbagai keperluan persuratan dan urusan administrasi selama perkuliahan.
3. Ibu **Dr. Dr. Georgina Maria Tinungki, M.Si.** selaku pembimbing Akademik serta pembimbing utama dan Ibu **Sitti Sahrman, S.Si., M.Si.** selaku

pembimbing pertama dalam penulisan skripsi ini telah meluangkan waktu, tenaga pikiran untuk membimbing dengan sabar dan turut mendoakan penulis hingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.

4. Bapak **Drs. Raupong, M.Si.** dan Ibu **Dr. Erna Tri Herdiani, S.Si., M.Si.** selaku tim penguji atas segala saran masukan yang diberikan untuk memperbaiki skripsi ini, serta kepada Bapak **Siswanto, S.Si., M.Si.** selaku koordinator seminar atas bantuan dan ilmu yang diberikan kepada penulis selama proses perkuliahan dan penyusunan tugas akhir ini.
5. *Support System* penulis **Ananda Kezia Sebayang, S.Th, Mayrina Yanita Sitorus** dan **Henderina Sophia Hukom** untuk doa, nasihat, cinta kasih, waktu dan kesabaran dalam mendengar segala keluh kesah perkuliahan penulis. Serta **Donny Suherman, S.Si** dan **Prasesty, S.Si** yang telah menjadi sahabat sejak menjadi mahasiswa baru yang selalu ada walaupun berbeda jurusan dan turut mendoakan penulis untuk dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. **Nur Lia, S.Si, Dwi Auliyah, S.Si** dan **Fadillah Oktavia Nabir** sebagai sahabat sejak pertama kali menjadi mahasiswa statistika terima kasih karena selalu ada untuk penulis, membantu penulis dalam perkuliahan dan drama tugas akhir ini, segala kebersamaan, canda tawa, nangis dan marah-marahnya. Untuk sobat pengerjaan skripsi di **Titik Nol** maupun di **Lab Stat** yang telah menjadi tempat bertukar pikiran selama penyelesaian skripsi ini.
7. Untuk **KAYE** terimakasih selalu menemani penulis dalam mengerjakan tugas akhir ini, menjadi tempat mengeluh, mengurus berkas dan tempat untuk penulis meluapkan segala keluh kesah. Terima kasih karena selalu ada untuk penulis dari awal penulisan skripsi ini hingga akhir.
8. Teman-teman **Statistika 2017** atas segala kebersamaan selama 4 tahun di dunia perkuliahan, kerja sama, kenangan suka duka serta dukungan selama proses perkuliahan hingga skripsi ini dapat selesai.
9. Seluruh pegawai **Badan Pusat Statistik Kota Makassar** atas kesempatan yang diberikan kepada penulis untuk dapat melaksanakan Kerja Praktik, terima kasih atas fasilitas, nasihat dan masukan kepada penulis

10. **Christian Science 2017, GMKI Komisariat FMIPA Unhas, PMKO Filadelfia Mipa_Farmasi, Pelkat PA GPIB Mangangamaseang, dan Korps PMR 328** yang telah menjadi wadah pengembangan dan pelayanan bagi penulis
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. *Last but not least, i wanna thank me. I wanna thank me for believing me.* Terima kasih karena masih bertahan untuk melakukan semua kerja keras ini, tidak pernah berhenti untuk menyelesaikan apa yang sudah ia mulai, tidak menyerah dan meninggalkan pekerjaannya, terima kasih atas air mata yang menjadi penyemangat untukmu sendiri, Terima kasih karna selalu berusaha memberikan yang terbaik dan menerima segala. *Thank you Jesus!*

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini 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, Amin.

Makassar, Oktober 2021



Hana Meisaria Retno Permataliyanti

**PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK
KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : HANA MEISARIA RETNO PERMATALIYANTI
NIM : H051171303
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 eksklusif (*Non-exclusive Royalty- Free Right*)** atas tugas akhir saya yang berjudul:

**“Penerapan *Fuzzy Inference System* dengan Metode Tsukamoto untuk
Memprediksi 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 13 Oktober 2021

Yang menyatakan,



Hana Meisaria Retno Permataliyanti

ABSTRAK

Hujan di Indonesia memiliki keragaman yang tinggi dikarenakan dipengaruhi oleh banyak faktor seperti suhu, kelembapan udara, kecepatan angin, tekanan udara, penyinaran matahari, arah angin dan lainnya. Dalam mempelajari curah hujan dapat dihubungkan dengan berbagai ilmu sains, salah satunya adalah *Fuzzy Inference System* (FIS) yang menerapkan logika *fuzzy*. Dalam penelitian ini, *Fuzzy Inference System* digunakan untuk memprediksi curah hujan berdasarkan faktor suhu, kelembapan relatif dan kecepatan angin di Kabupaten Maros selama tahun 2018 menggunakan metode *Tsukamoto*. FIS-T yang mendasari logika *fuzzy* dengan aturan jika-maka memiliki empat tahapan yakni fuzzification, pembentukan aturan *fuzzy*, inferensi *fuzzy* dan defuzzification. Penelitian ini menggunakan variabel input suhu, kelembapan dan kecepatan angin untuk memprediksi curah hujan atau variabel output. Dengan menggunakan kategori rendah, sedang dan tinggi. Pembentukan himpunan *fuzzy* dengan derajat keanggotaan kurva bentuk bahu. Penelitian ini memiliki 27 aturan *fuzzy* yang terbentuk. Setelah proses 4 tahapan *fuzzy* dilakukan analisis menggunakan *Root Mean Square Error (RMSE)* menghasilkan nilai 18.703 untuk memprediksi curah hujan. Prediksi curah hujan dengan FIS metode *Tsukamoto* berdasarkan analisis menggunakan kategori rendah, sedang dan tinggi dari 365 data sebanyak 187 data yang sesuai dengan data aktual atau sebesar 51.23%. Nilai curah hujan tinggi yang tidak dapat diprediksi FIS-T dipengaruhi oleh faktor lainnya.

Kata Kunci : Aturan Jika-Maka, Curah Hujan, *Fuzzy Inference System Tsukamoto*, Logika *fuzzy*

ABSTRACT

Rain in Indonesia has great diversity as it is influenced by many factors such as temperature, air humidity, wind speed, atmospheric pressure, solar radiation, wind direction and others. In the study of precipitation, it can be related to various sciences, one of which is the Fuzzy Inference System (FIS) which applies fuzzy logic. In this study, the fuzzy inference system was used to predict precipitation based on factors of temperature, relative humidity and wind speed in the Maros regency in 2018 using the Tsukamoto method. The underlying fuzzy logic of FIS-T with if-then rules has four stages, namely fuzzification, fuzzy rule formation, fuzzy inference, and defuzzification. This study uses input variables of temperature, humidity and wind speed to predict precipitation or output variables. Using low, medium and high categories. Formation of a fuzzy whole with degree of belonging to the curve of the shape of the shoulder. This study has 27 fuzzy rules that are formed. After a 4-step fuzzy process, analysis using the root mean square error (RMSE) yielded a value of 18,703 to predicting a rainfall. Predicting a Rainfall using Fuzzy Inference System Tsukamoto method based on analysis using low, medium and high categories of 365 data up to 187 data based on actual data or 51.23%. High precipitation values that cannot be predicted by FIS-T are influenced by other factors.

Keywords: Fuzzy Inference System Tsukamoto, Fuzzy Logic, Fuzzy rule IF-THEN, Rainfall

DAFTAR ISI

Halaman Sampul	Error! Bookmark not defined.
Halaman Judul.....	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	vi
PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR	ix
ABSTRAK	x
ABSTRACT	xi
DAFTAR ISI.....	Error! Bookmark not defined.
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I_PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat Penulisan	3
BAB II_TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Himpunan <i>Fuzzy</i>	4
2.2 Fungsi Keanggotaan.....	6
2.3 <i>Fuzzy Inference System</i>	10
2.4 <i>Fuzzy Inference System</i> metode <i>Tsukamoto</i>	11
2.5 <i>Root Mean Square Error</i>	12
2.6 Curah Hujan	13

BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	15
3.1 Sumber Data.....	15
3.2 Variabel Penelitian.....	15
3.3 Metode Analisis	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	17
4.1 Deskripsi Data.....	17
4.2 Analisis <i>Fuzzy Inference System</i> Tsukamoto	17
4.2.1 <i>Fuzzyfication</i>	17
4.2.2 Pembentukan Aturan <i>Fuzzy</i>	24
4.2.3 Inferensi <i>Fuzzy</i>	26
4.2.4 <i>Defuzzyfication</i>	29
4.3 Analisis dengan RMSE	30
4.4 Analisis berdasarkan Kategori Curah Hujan.....	32
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	34
5.1 Kesimpulan	34
5.2 Saran	34
Daftar Pustaka	35
LAMPIRAN	37

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Representasi Linier Naik.....	6
Gambar 2.2 Representasi Linier Turun.....	7
Gambar 2.3 Representasi Kurva Segitiga	8
Gambar 2.4 Representasi Kurva Trapesium	8
Gambar 2. 5 Representasi Kurva Bentuk Bahu	9
Gambar 4. 1 Representasi Kurva Bahu Variabel Suhu	20
Gambar 4. 2 Representasi Kurva Bahu Variabel Kelembapan	21
Gambar 4. 3 Representasi Kurva Bahu Variabel Kecepatan	22
Gambar 4. 4 Plot Data Tahun 2018.....	30
Gambar 4. 5 Plot Data Bulan Agustus	31
Gambar 4. 6 Plot Data September.....	32

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Deskriptif Data.....	17
Tabel 4. 2 Semesta Pembicaraan.....	18
Tabel 4. 3 Nilai Kuartil tiap Variabel.....	18
Tabel 4. 4 Himpunan <i>Fuzzy</i> dan Domain setiap Variabel.....	19
Tabel 4. 5 Aturan <i>fuzzy</i>	24
Tabel 4. 6 Hasil Inferensi Fuzzy	28
Tabel 4. 7 Hasil <i>Defuzzyfication</i>	29
Tabel 4. 8 Perhitungan RMSE	30
Tabel 4. 9 Hasil Prediksi berdasarkan Kategori.....	33

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Data Pengamatan Aktual Suhu, Kelembapan, Kecepatan dan Curah Hujan di Kabupaten Maros tahun 2018	37
Lampiran 2 Hasil Proses Inferensi.....	38
Lampiran 3 Hasil Proses Defuzzyfication	39
Lampiran 4. Hasil Prediksi berdasarkan Kategori	40

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Secara geografis Indonesia berada di sekitar garis ekuator sehingga, Indonesia memiliki iklim tropis yang terdiri dari musim hujan dan musim kemarau. Letak Indonesia yang diapit oleh dua samudera yang luas membuat pengaruh terhadap iklim di Indonesia. Iklim di Indonesia dipengaruhi pula oleh angin muson yang bertiup setiap enam bulan sekali dan selalu berganti-ganti arah (Mintaraga, 2017).

Cuaca dipengaruhi dengan beberapa factor yaitu suhu, kelembapan relatif, tekanan udara, kecepatan angin, total lapisan awan dan penyinaran matahari (Navianti dkk, 2012). Di Indonesia, hujan merupakan unsur iklim yang paling penting karena keragamannya yang tinggi. Intensitas hujan adalah banyaknya curah hujan persatuan jangka waktu tertentu. Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan 1(satu) milimeter artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter (Muslikh, 2013).

Fenomena curah hujan ini juga dapat dihubungkan dengan berbagai konsep logika yang mempelajari secara sistematis kaidah-kaidah penalaran yang absah (valid) (Mintaraga, 2017). Pada konsep logika terdapat logika tegas (*Crisp*) dan logika kabur (*fuzzy*). Logika tegas hanya mengenal dua keadaan yaitu: ya dan tidak atau 1 dan 0. Sedangkan logika kabur (*fuzzy*) adalah logika yang menggunakan konsep sifat kesamaran dan logika dengan tak hingga banyak nilai kebenaran yang dinyatakan dalam bilangan *real* dalam selang $[0,1]$ (Susilo, 2006).

Aplikasi logika *fuzzy* yang telah berkembang salah satunya adalah *Fuzzy Inference System* yaitu kerangka komputasi yang didasarkan pada teori himpunan fuzzy, aturan *fuzzy* dan penalaran *fuzzy*. *Fuzzy Inference System* digunakan pada penentuan status gizi, produksi barang, sistem pendukung keputusan dan penentuan curah hujan. Metode dalam sistem inferensi *fuzzy* ialah metode *Tsukamoto*, metode *Mamdani* dan metode *Sugeno* (Yulmaini, 2015).

Fuzzy Inference System dengan metode *Tsukamoto* adalah metode yang memiliki toleransi pada data dan sangat fleksibel. *Fuzzy Tsukamoto* memiliki

kelebihan yaitu lebih intuitif, diterima oleh banyak pihak dan sangat sederhana. Kelebihan lain menggunakan metode dengan logika *fuzzy* ialah konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* mudah dimengerti (Thamrin dkk, 2012).

Penelitian yang dilakukan Dynes Rizky, dkk tentang penerapan *Fuzzy Inference System* tahun 2012 diperoleh model berbasis aturan, yaitu model pada musim penghujan dan model pada musim kemarau. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Abdul Hapiz pada tahun 2017 mengatakan penegasan (defuzzifikasi) yaitu suatu himpunan kabur yang diperoleh dari suatu komposisi aturan-aturan logika *fuzzy*, sedangkan *output* yang dihasilkan merupakan suatu bilangan pada himpunan *fuzzy* tersebut.

Penelitian ini akan mengestimasi curah hujan menggunakan system inferensi *fuzzy* metode Tsukamoto berdasarkan data suhu, kelembapan relatif, kecepatan angin dan arah angin selama bulan Januari hingga Desember 2019 dari Stasiun Klimatologi Maros. Dari hasil sistem inferensi *fuzzy* Tsukamoto akan didapatkan nilai estimasi curah hujan yang akan dibandingkan dengan data curah hujan yang telah diukur oleh UPT Stasiun Klimatologi Maros.

Berdasarkan uraian diatas maka peneliti mengambil judul **“Penerapan *Fuzzy Inference System* dengan metode Tsukamoto untuk Memprediksi Curah Hujan di Kabupaten Maros”**

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana mendapatkan prediksi curah hujan di BMKG Stasiun Klimatologi Maros menggunakan *Fuzzy Inference System* dengan Metode Tsukamoto?

I.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah tersebut, maka tujuan penelitian adalah mendapatkan hasil prediksi curah hujan di BMKG Stasiun Klimatologi Maros menggunakan *Fuzzy Inference System* dengan Metode Tsukamoto.

I.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan masalah, maka perlu adanya batasan masalah. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah derajat keanggotaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah kurva bentuk bahu serta jumlah aturan *fuzzy* yang terbentuk 27 aturan. Serta data yang digunakan mulai

pada 1 Januari 2018 hingga 31 Desember 2018 sumber data dari BMKG UPT Stasiun Klimatologi Maros Parameter untuk memprediksi curah hujan yang digunakan adalah suhu, kelembapan relatif dan kecepatan angin parameter faktor yang lain tidak dibahas pada penelitian ini.

I.5 Manfaat Penulisan

Manfaat penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai kesempatan untuk peneliti dalam mengaplikasikan studi dalam menerapkan salah satu metode memecahkan permasalahan dengan penerapan logika *fuzzy* dengan *Fuzzy Inference System* metode *Tsukamoto*. Selain untuk peneliti, untuk lembaga dapat meningkatkan pengembangan wawasan dan dapat memberikan metode alternatif untuk penelitian memprediksi curah hujan. Penelitian ini juga dapat digunakan sebagai bahan rujukan dan pengembangan pembelajaran dengan penerapan logika *fuzzy* maupun *Fuzzy Inference System* metode *Tsukamoto*

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Himpunan *Fuzzy*

Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965 merupakan pencetus tentang mekanisme pengolahan atau manajemen ketidakpastian yang dikenal dengan logika *fuzzy*. Logika *Fuzzy* merupakan logika yang memiliki nilai kesamaran atau kekaburan atau *fuzziness* antara benar atau salah. Logika *fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan berada di antara 0 dan 1 yang berarti mempunyai keadaan ya dan tidak, keanggotaan elemen berada di interval $[0,1]$. Logika *Fuzzy* adalah sebuah metodologi dengan variabel kata-kata atau *linguistic variable* pengganti menghitung dengan bilangan. (Naba, 2009)

Beberapa alasan logika *fuzzy* sering digunakan menurut Kusumadewi dan Purnomo 2004, yaitu :

1. Konsep matematis yang mendasari penalaran *fuzzy* sangat sederhana dan mudah dimengerti.
2. Logika *fuzzy* sangat fleksibel, artinya mampu beradaptasi dengan perubahan dan ketidakpastian.
3. Logika *fuzzy* memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
4. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi *nonlinear* yang sangat kompleks.
5. Logika *fuzzy* dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
6. Logika *fuzzy* dapat bekerjasama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.

Logika *fuzzy* memiliki beberapa komponen yang harus dipahami seperti himpunan *fuzzy*, fungsi keanggotaan, operator pada himpunan *fuzzy*, inferensi *fuzzy* dan defuzzifikasi. Untuk memahami sistem *fuzzy* ada beberapa hal yang perlu diketahui, yaitu:

- a. Variabel *fuzzy*, merupakan variabel yang akan dibahas dalam suatu sistem.
Contoh: umur, suhu, kecepatan, permintaan, curah hujan dan sebagainya.

- b. Himpunan *fuzzy*, merupakan suatu grup atau kelompok yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam variabel *fuzzy*. Himpunan *fuzzy* memiliki 2 atribut, yaitu Linguistik dan Numeris. Linguistik adalah penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan tertentu dengan menggunakan bahasa yang bernilai kata atau kalimat bukan angka, seperti rendah, sedang dan tinggi atau berawan, hujan sedang dan hujan lebat. Numeris yaitu angka yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel, seperti 5, 20, 30 dan sebagainya
- c. Semesta Pembicaraan, keseluruhan nilai yang dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Contoh: Semesta pembicaraan untuk variabel suhu [0, 150]
- d. Domain himpunan *fuzzy*, adalah keseluruhan nilai dalam semesta pembicaraan yang dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*. Contoh : Berawan [0, 20], Hujan sedang [20, 100] dan Hujan Lebat [100, 150]
- e. Operasi himpunan *fuzzy*, diperlukan untuk proses inferensi atau penalaran yang dioperasikan adalah derajat keanggotaan. Derajat keanggotaan sebagai hasil dari operasi dua buah himpunan *fuzzy* disebut *fire strength* atau α -predikat. Operator dasar yang diciptakan oleh Prof. Zadeh, adalah :

- i. Operator *And* atau *intersection* berhubungan dengan operasi irisan pada himpunan. Intersection dari 2 himpunan adalah minimum dari tiap pasangan elemen pada kedua himpunan. Dengan mengambil nilai keanggotaan terkecil antar elemen diperoleh α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator *And* pada himpunan yang bersangkutan. Derajat keanggotaannya:

$$\mu_C(x) = \min (\mu_A[x], \mu_B[x]) \quad (2. 1)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min (\mu_A[x], \mu_B[x]) \quad (2. 2)$$

- ii. Operator *Or* atau *union* berhubungan dengan operasi gabungan pada himpunan. *Union* dari 2 himpunan adalah maksimum dari tiap pasang elemen pada kedua himpunan. Dengan mengambil nilai keanggotaan terbesar antar elemen diperoleh α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator *Or* pada himpunan yang bersangkutan. Derjat keanggotaannya:

$$\mu_C(x) = \max (\mu_A[x], \mu_B[x]) \quad (2. 3)$$

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max (\mu_A[x], \mu_B[x]) \quad (2. 4)$$

- iii. Operator *Not* atau *complement* dalam operasi himpunan. α -predikat sebagai hasil operasi dengan operator *not* diperoleh dengan mengurangi nilai keanggotaan elemen pada himpunan yang bersangkutan. Derajat keanggotaannya:

$$A^c = 1 - A(x) \quad (2.5)$$

$$\mu_{A^c}(x) = 1 - \mu_A(x), \forall x \in X \quad (2.6)$$

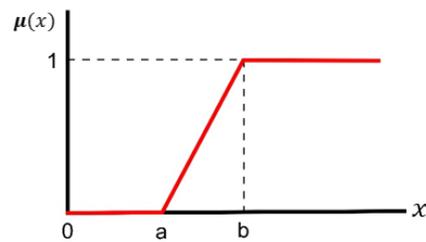
2.2 Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan atau *membership function* adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik *input* data ke dalam nilai keanggotaannya yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi (Kusumadewi & Purnomo, 2004). Fungsi keanggotaan *fuzzy* yang sering digunakan di antaranya, yaitu:

a. Representasi Linear

Pada representasi linear, pemetaan *input* ke derajat keanggotaannya dapat digambarkan sebagai suatu garis lurus. Ada 2 keadaan himpunan *fuzzy* yang linear, yaitu:

- i. Representasi linear naik, yaitu kenaikan himpunan dimulai dari nilai domain yang memiliki nilai keanggotaan nol [0] bergerak ke kanan menuju ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan yang lebih tinggi seperti ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Representasi Linier Naik

Fungsi keanggotaan :

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; \quad a < x \leq b \\ 1 & ; \quad x > b \end{cases} \quad (2.7)$$

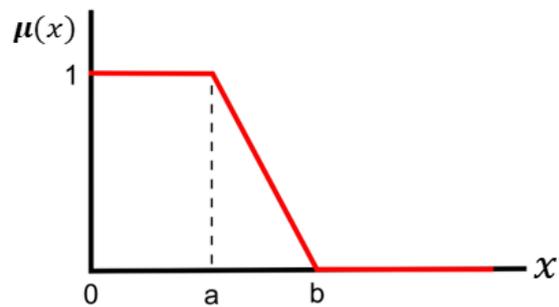
dengan:

a : nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b : nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu

x : nilai *input* yang akan di ubah ke dalam bilangan *fuzzy*

- ii. Representasi linier turun, yaitu garis lurus yang dimulai dari nilai domain dengan derajat keanggotaan tertinggi pada sisi kiri, kemudian bergerak turun ke nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan lebih rendah seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.2 Representasi Linier Turun

Fungsi keanggotaan :

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & ; \quad x < a \\ \frac{(b-x)}{(b-a)} & ; \quad a \leq x < b \\ 0 & ; \quad x \geq b \end{cases} \quad (2.8)$$

dengan:

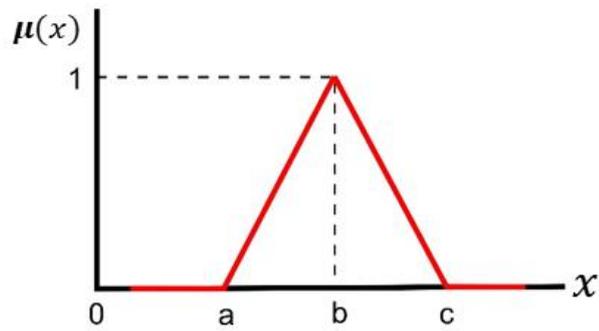
a : nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan nol

b : nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu

x : nilai *input* yang akan di ubah ke dalam bilangan *fuzzy*

- b. Representasi Kurva Segitiga

Pada dasarnya adalah gabungan antara dua representasi linier seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.3 Representasi Kurva Segitiga

Fungsi Keanggotaan :

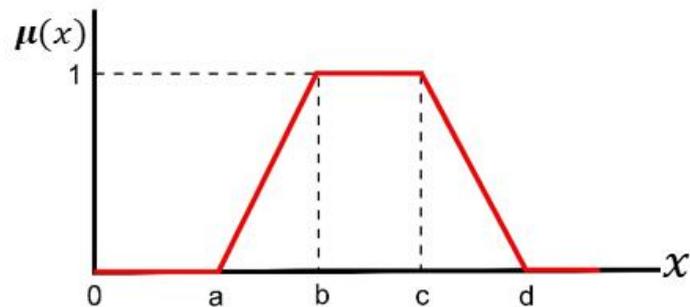
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; \quad x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; \quad a < x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-a)} & ; \quad b < x < c \end{cases} \quad (2.9)$$

dengan:

- a : nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol
- b : nilai domain yang mempunyai derajat keanggotaan satu
- c : nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol
- x : nilai *input* yang akan di ubah ke dalam bilangan *fuzzy*

c. Representasi Kurva Trapezium

Kurva trapezium pada dasarnya seperti bentuk segitiga karena gabungan antara dua representasi linier, hanya saja ada beberapa titik yang memiliki nilai keanggotaan 1 seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Gambar 2.4 Representasi Kurva Trapezium

Fungsi Keanggotaan :

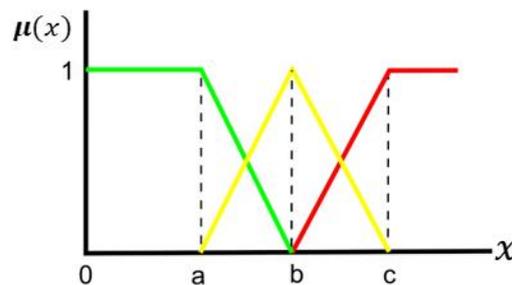
$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; a \leq x < b \\ 1 & ; b \leq x \leq c \\ \frac{(d-x)}{(d-c)} & ; x < d \end{cases} \quad (2.10)$$

dengan:

- a : nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan nol
- b : nilai domain terkecil yang mempunyai derajat keanggotaan satu
- c : nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan satu
- d : nilai domain terbesar yang mempunyai derajat keanggotaan nol
- x : nilai *input* yang akan di ubah ke dalam bilangan fuzzy

d. Representasi Kurva Bentuk Bahu

Daerah yang terletak di tengah-tengah suatu variabel yang direpresentasikan dalam bentuk segitiga, pada sisi kanan dan kirinya akan naik turun. Tetapi terkadang salah satu sisi dari variabel tersebut tidak mengalami perubahan. Himpunan fuzzy “bahu”, bukan segitiga, digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah fuzzy. Bahu kiri bergerak dari benar ke salah, demikian juga bahu kanan bergerak dari salah ke benar. Representasi fungsi keanggotaan untuk kurva bahu adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 5 Representasi Kurva Bentuk Bahu

Fungsi Keanggotaannya :

1. Rendah

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & ; x < a \\ \frac{(b-x)}{(b-a)} & ; a \leq x < b \\ 0 & ; x \geq b \end{cases} \quad (2.11)$$

2. Sedang

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & ; a < x \leq b \\ \frac{(c-x)}{(c-b)} & ; b < x < c \end{cases} \quad (2.12)$$

3. Tinggi

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & ; x \leq b \\ \frac{(x-b)}{(c-b)} & ; b < x \leq c \\ 1 & ; x > c \end{cases} \quad (2.13)$$

2.3 Fuzzy Inference System

Salah satu aplikasi logika *fuzzy* yang telah berkembang amat luas adalah *Fuzzy Inference System/FIS*, yaitu sistem komputasi yang bekerja atas dasar prinsip penalaran *fuzzy*. Misalnya penentuan produksi barang, sistem pendukung keputusan, sistem klasifikasi data, sistem pakar, sistem pengenalan pola, robotika, dan sebagainya (Solikin, 2011). Inferensi adalah proses penggabungan banyak aturan berdasarkan data yang tersedia. Tahapan dalam *Fuzzy Inference System* yaitu *fuzzification*, inferensi *fuzzy* (fungsi implikasi) dan *defuzzification*.

1. *Fuzzification*, fase pertama dari perhitungan *fuzzy* dengan mengubah nilai *input* yang nilainya bersifat *crisp* (pasti) kedalam bentuk *fuzzy input* yang berupa tingkat keanggotaan. Kemudian nilai-nilai tersebut menjadi anggota dari setiap himpunan *fuzzy* yang sesuai berdasarkan derajat keanggotaannya.
2. Inferensi *fuzzy*, adalah proses penalaran menggunakan *fuzzy input* dan *fuzzy rules* yang telah ditentukan sehingga menghasilkan *fuzzy output*.
3. *Defuzzification*, tahapan mengubah *fuzzy output* menjadi nilai *real* yang pasti/tegas berdasarkan fungsi keanggotaan yang telah ditentukan. *Defuzzifikasi* merupakan metode yang penting dalam pemodelan sistem *fuzzy* karena menjadi nilai *output* dari *fuzzy*.

Terdapat tiga metode dalam *Fuzzy Inference System* yang dikenal menurut Setiadji (2009) yaitu :

i. Metode Tsukamoto

Model *fuzzy Tsukamoto* diusulkan oleh Y. Tsukamoto pada tahun 1979. Dalam model *fuzzy Tsukamoto*, dinyatakan bahwa konsekuensi dari setiap aturan *if-*

then direpresentasikan oleh himpunan *fuzzy* diatur dengan fungsi keanggotaan. Untuk menentukan nilai *output crisp*/hasil yang tegas (*Z*) dicari dengan cara mengubah *input* (berupa himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan-aturan *fuzzy*) menjadi suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Metode *defuzzifikasi* yang digunakan dalam metode Tsukamoto adalah metode *defuzzifikasi* rata-rata terpusat (*Center Average Defuzzyfier*)

ii. Metode Mamdani

Penalaran fuzzy yang telah dipelajari terdahulu adalah metode penalaran mamdani. Metode ini diperkenalkan oleh Ebrahim Mamdani pada tahun 1975. Untuk metode ini, pada setiap aturan yang berbentuk implikasi (“sebab akibat”) anteseden yang berbentuk konjungsi (AND) mempunyai nilai keanggotaan berbentuk minimum (min), sedangkan konsekuen gabungannya berbentuk maksimum (max), karena himpunan aturan-aturannya bersifat independen

iii. Metode Takagi-Sugeno

Metode ini diperkenalkan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985. Metode Fuzzy Sugeno adalah metode inferensi fuzzy untuk aturan yang direpresentasikan dalam bentuk IF-THEN, di mana sistem *output* (akibatnya) bukan dalam bentuk fuzzy, melainkan persamaan konstan atau linear

2.4 Fuzzy Inference System metode Tsukamoto

Pada metode Tsukamoto, setiap aturan direpresentasikan menggunakan himpunan-himpunan *fuzzy*, dengan fungsi keanggotaan. Untuk menentukan nilai *output crisp*/hasil yang nyata dicari dengan cara mengubah *input* (berupa himpunan *fuzzy* yang diperoleh dari komposisi aturan *fuzzy*) menjadi suatu bilangan pada domain himpunan *fuzzy* tersebut. Cara ini disebut dengan metode *defuzzification* (penegasan hompunan) (Gulbay & Kahraman, 2006 & 2007).

Tahapan dalam menganalisis menggunakan metode *Fuzzy Inference System Tsukamoto*, yaitu :

i. *Fuzzyfication*

Proses untuk mengubah variabel *nput* yang mempunyai nilai *crisp*/ nilai nyata menjadi variabel lingustik untuk mendapatkan himpunan *fuzzy*. Menentukan semesta pembicaraan pada nilai variabel *input*, kemudian menentukan variabel

linguistik untuk tiap variabel *input*, mencari nilai domain tiap variabel dan membentuk himpunan *fuzzy* tiap variabel.

ii. *Inferensi Fuzzy*

Pada metode *Tsukamoto* sebelum melakukan inferensi atau penalaran harus menentukan aturan *fuzzy*. Operator yang digunakan dalam metode FIS-T adalah operator *and*, sehingga aturan *fuzzy* didefinisikan sebagai :

$$IF\ x\ is\ A\ and\ y\ is\ B\ THEN\ z\ is\ C \quad (2.14)$$

Proses penalaran *inferensi fuzzy* untuk mengubah nilai *input fuzzy* menjadi *output fuzzy* dengan cara mengikuti aturan *fuzzy* yang telah ditetapkan. Dalam *inferensi fuzzy* menggunakan fungsi implikasi MIN untuk mendapatkan nilai α -predikat dari setiap aturan. Nilai α -predikat didapatkan dari nilai $\mu(x)$ berdasarkan fungsi keanggotaan. Kemudian dengan menggunakan fungsi implikasi MIN untuk tiap nilai $\mu(x)$ akan didapatkan hasil α -predikat. Sehingga persamaan (2.2) menjadi:

$$\alpha_i = \mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A[x], \mu_B[x]), i = 1, 2, 3, \dots \quad (2.15)$$

Nilai α_i merupakan hasil dari proses inferensi berdasarkan aturan yang dibentuk dengan menggunakan fungsi implikasi MIN.

iii. *Defuzzification*

Defuzzifikasi metode *Tsukamoto* mengkonversi himpunan *fuzzy output* ke bentuk bilangan *crisp* dengan metode perhitungan rata-rata terboboti (*Weighted Average*) (Lestari, Islami, Moses, & Wibawa, 2018) dengan rumus:

$$z = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i x_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}; i = 1, 2, 3, \dots \quad (2.16)$$

dengan,

z : nilai defuzzifikasi (*output*)

α_i : nilai α -predikat pada aturan ke i

x_i : nilai *output fuzzy* pada aturan ke i

2.5 Root Mean Square Error

RMSE atau *Root Mean Square Error* adalah metode yang digunakan untuk mengestimasi besarnya kesalahan dalam pengukuran. Keakuratan metode estimasi kesalahan pengukuran ditandai dengan adanya nilai RMSE yang kecil. Metode RMSE diterapkan di meteorologi untuk melihat seberapa efektif model prediksi

matematis tentang lingkungan di Atmosfer. Perhitungan RMSE dengan mencari akar kuadrat dari hasil pengurangan nilai aktual dengan nilai prediksi kemudian dibagi dengan banyaknya data. Secara matematis ditulis sebagai berikut

$$RMSE = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_j - \hat{y}_j)^2} \quad (2.17)$$

dimana \hat{y}_j adalah nilai Curah Hujan hasil prediksi menggunakan FIS-T dan y_j adalah nilai Curah Hujan hasil pengamatan dengan n jumlah data. Kemudian setelah mendapat nilai RMSE, menghitung tingkat akurasi berdasarkan hasil RMSE (Gunawan & Astuti, 2014) dengan menggunakan persamaan :

$$Accuray = 100 - RMSE \quad (2.18)$$

2.6 Curah Hujan

Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap, dan tidak mengalir. Curah hujan 1 (satu) milimeter artinya dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Intensitas hujan adalah banyaknya curah hujan persatuan jangka waktu tertentu. Apabila dikatakan intensitasnya besar berarti hujan lebat dan kondisi ini sangat berbahaya karena berdampak dapat menimbulkan banjir, longsoran efek negatif terhadap tanaman (Indah, 2014).

Intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu, yang terjadi pada satu kurun waktu. Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya.

Intensitas curah hujan yang tinggi pada umumnya berlangsung dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak luas. Hujan yang meliputi daerah luas, jarang sekali dengan intensitas tinggi, tetapi dapat berlangsung dengan durasi cukup panjang. Kombinasi dari intensitas hujan yang tinggi dengan durasi panjang jarang terjadi, tetapi apabila terjadi berarti sejumlah besar volume air bagaikan ditumpahkan dari langit. Adapun jenis-jenis hujan berdasarkan besarnya curah hujan (definisi BMKG), diantaranya yaitu hujan kecil antara 0 – 21mm per hari,

hujan sedang antara 21 – 50 mm per hari dan hujan besar atau lebat di atas 50 mm per hari (Indah, 2014).

Banyak sedikitnya hujan rata-rata yang ada di suatu tempat memang berbeda-beda. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi curah hujan yang ada di suatu tempat. Faktor-faktor tersebut memiliki kontribusi terhadap turunnya hujan. Faktor-faktor tersebut adalah Suhu, Kelembapan Udara, Kecepatan dan Arah Angin, Tekanan Udara dan Sinar Matahari