

**PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN METODE JARINGAN SARAF  
TIRUAN ( JST ) *BACKPROPOGATION* SEBAGAI PENDUKUNG  
KALENDER TANAM TEMBAKAU DI KABUPATEN BOJONEGORO**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**OVI DIANAWATI**  
**NIM. 18640026**



**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

**PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN METODE JARINGAN SARAF  
TIRUAN (JST) *BACKPROPAGATION* SEBAGAI PENDUKUNG  
KALENDER TANAM TEMBAKAU DI KABUPATEN BOJONEGORO**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:  
OVI DIANAWATI  
NIM. 18640026**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN METODE JARINGAN SARAF  
TIRUAN (JST) *BACKPROPAGATION* SEBAGAI PENDUKUNG KALENDER  
TANAM TEMBAKAU DI KABUPATEN BOJONEGORO**

**SKRIPSI**

Oleh:  
**OVI DIANAWATI**  
NIM. 18640026

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji

Pada tanggal: 5 Juni 2025

Pembimbing I

Pembimbing II



**Dr. Imam Tazi, M.Si**  
NIP. 19641211 199111 1 001



**Dr. Mubasyiroh, S.S., M.Pd.I**  
NIP. 19790502 202321 2 024

Mengetahui,  
Ketua Program Studi



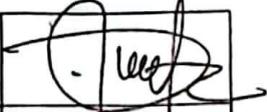
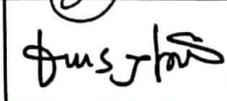
HALAMAN PENGESAHAN

PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN METODE JARINGAN SYARAF TIRUAN (JST) *BACKPROPAGATION* SEBAGAI PENDUKUNG KALENDER TANAM TEMBAKAU DI KABUPATEN BOJONEGORO

SKRIPSI

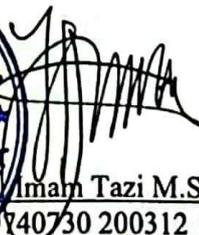
Oleh:  
Ovi Dianawati  
NIM. 18640026

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji  
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Pada Tanggal, 25 Juni 2025

Penguji Utama	:	<u>Prof. Dr. Drs. Mokhammad Tirono., M.Si</u> NIP.19750808 19990 3 003	
Ketua Penguji	:	<u>Dr. Erna Hastuti., M.Si</u> NIP.19811119 200901 2 009	
Sekretaris Penguji	:	<u>Dr. Imam Tazi, M.Si</u> NIP.19740730 200312 1 002	
Anggota Penguji	:	<u>Mubasyiroh.S.S., M.Pd.I</u> NIP. 19790502 202321 2 024	

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi



  
Imam Tazi M.Si  
NIP.19740730 200312 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : OVI DIANAWATI  
NIM : 18640026  
Jurusan : FISIKA  
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
Judul Penelitian : Prediksi Curah Hujan dengan Metode Jaringan Saraf  
Tiruan (JST) *Backpropogation* sebagai Pendukung  
Kalender Tanam Tembakau di Kabupaten Bojonegoro

Menyatakan yang sebenar-benarnya bahwa hasil penelitian saya ini tidak terdapat unsur-unsur penjiplakan karya penelitian atau karya ilmiah yang pernah dilakukan atau dibuat oleh orang lain, kecuali yang tertulis di kutipan dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar Pustaka. Apabila ternyata hasil penelitian ini terbukti unsur-unsur jiplakan maka saya bersedia untuk menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 17 Juni 2025  
Yang Membuat Pernyataan

  
  
NIM. 18640026

## MOTTO

*"Percayalah, di saat kamu ikhlas dengan keadaanmu, di situlah Allah merencanakan kebahagiaan untukmu. Allah mampu mengubah situasi paling terpuruk menjadi momen terbaik dalam hidupmu."*

*(Syekhuna KH. Maimoen Zubair)*

*Tidak ada rahasia, hanya saja ruang yang sempit dan waktu yang terbatas.*

*(Abdus Shobaror Rohman)*

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan rasa syukur Alhamdulillah, segala puji kupersembahkan kepada Allah SWT yang pengasih, penyayang dan maha baik dengan ridha-nya saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Sholawat dan salam senantiasa terucap kepada Nabi Muhammad SAW, yang telah memberikan pertolongan berupa syafaat. Dengan penuh rasa syukur tulisan ini saya persembahkan kepada:

1. Teruntuk Kedua orang tua penulis, ibu dan Bapak, yang menjadi alasan utama penulis bertekad menyelesaikan skripsi ini, meskipun tidak secepat orang lain dan tidak sesempurna orang lain, orang tua adalah wujud cinta dan sabar paling luar biasa di dunia ini, skripsi ini penulis jadikan hadiah kecil untuk rasa sabar dan cinta orang tua untuk penulis selama proses mengerjakan skripsi ini.
2. Teruntuk Kakek dan Nenek, untuk Almarhum Kakek Wage, terimakasih sudah menjadi wujud cinta kedua penulis setelah cinta penulis kepada orang tua, terima kasih sudah menjadi manusia yang selalu mendukung apapun yang penulis lakukan dari kecil hingga waktu dimana harus melihat wajah tampanmu untuk terakhir kali di dunia ini. Untuk Nenek Kami, terima kasih sudah merawat penulis sehingga penulis tumbuh sekuat ini sekarang, hidup lebih lama, Panjang umur dan sehat dan seluruh keluarga dan kerabat yang selalu mendukung penulis sampai skripsi ini selesai.
3. Segenap dosen Pembimbing dan penguji yang telah memberikan keluasan ilmu pengetahuan. Semoga menjadikan ilmu tersebut manfaat dan menjadi amal jariyah untuk dunia dan akhirat.

4. Teruntuk Sahabat penulis yang selalu sabar mendengarkan setiap proses cerita skripsi ini, dan seluruh teman-teman, adek-adek, dan semua manusia yang tidak bisa penulis sebutkan seluruhnya yang telah memberikan motivasi dan kepercayaan sehingga penulis bisa menyelesaikan skripsi ini.
5. Teruntuk seseorang yang belum bisa penulis tulis dengan jelas Namanya disini, namun sudah tertulis jelas di *Lauhul Mahfudz* untuk penulis. Terimakasih telah menjadi salah satu sumber motivasi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini, sebagai salah satu bentuk penulis dalam memantaskan diri. Meskipun penulis banyak kurangnya dan masih banyak yang lebih baik dari pada penulis. Semoga persembahan kecil ini sampai kepada seseorang itu. Seperti kata Bj Habibie “Kalau memang dia dilahirkan untuk saya, kamu jungkir balik pun saya yang dapat”.

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, yang telah mencurahkan rahmat dan hidayahnya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi yang berjudul “**PREDIKSI CURAH HUJAN DENGAN METODE JARINGAN SARAF TIRUAN (JST) BACKPROPAGATION SEBAGAI PENDUKUNG KALENDER TANAM TEMBAKAU DI KABUPATEN BOJONEGORO**” sesuai harapan penulis. Proposal skripsi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa bantuan, dukungan, serta doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A., selaku Rektor Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Imam Tazi, M.Si., selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Drs. Cecep E Rustana, B.Sc Hons., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing di Universitas Islam Negeri (UIN) Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Ibu dan bapak, Nenek dan Almarhum Kakek, serta keluarga besar yang selalu mendoakan dan selalu memberi semangat serta dukungan untuk penulis dalam segala hal.

Semoga Allah SWT, membalas kebaikan mereka dengan nikmat dan rahmat yang berlipat ganda baik di dunia maupun di akhirat. Penulis berharap semoga proposal ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan semua pihak yang membaca proposal ini dan dapat menambah wawasan, memberikan

kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan khususnya dalam lingkup sains dan teknologi. Oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat konstruktif sangat penulis harapkan demi kebaikan bersama.

Malang, 5 Juni 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN.....</b>	<b>iv</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>vii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xvi</b>
<b>مستخلص البحث.....</b>	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	6
1.3. Tujuan Penelitian .....	6
1.4. Manfaat Penelitian .....	6
1.5. Batasan Masalah.....	7
<b>BAB II KAJIAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1. Curah Hujan .....	8
2.2. Geologi Daerah Penelitain .....	20
2.3. Jaringan Saraf Tiruan Metode <i>Backpropogation</i> (Propagasi Balik) .....	22
2.4. Kalender Tanam Tembakau .....	27
2.5. Hasil Penelitian yang Relevan .....	32
2.6. Kerangka berfikir .....	38
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>36</b>
3.1. Jenis Penelitian.....	41
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian .....	41
3.3. Alat dan Bahan Penelitian .....	41
3.4. Prosedur Penelitian.....	42
3.5. Analisis Hasil dan Konversi Kalender Tanam .....	46
3.6. Diagram Alir Penelitian .....	47
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>44</b>
4.1. Proses Pengumpulan Data.....	49
4.2. Praproses Data Normalisasi .....	50
4.4. Hasil Prediksi Curah Hujan.....	63
4.5. Konversi Hasil Prediksi Curah hujan menjadi Kalender Tanam Tembakau ..	68
4.6. Pembahasan.....	71
<b>BAB V PENUTUP.....</b>	<b>88</b>
5.1. Kesimpulan .....	88

5.2. Saran.....88

**DAFTAR PUSTAKA .....98**

**LAMPIRAN.....103**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Derajat Curah Hujan dan Intensitas Curah Hujan .....	12
Tabel 2.2 Tanaman Kebutuhan Curah Hujan dan Waktu Penanaman.....	26
Tabel 3.1 Parameter yang Diobservasi Beserta Nilainya .....	38
Tabel 3.2 Contoh Data Sementara Prediksi Curah Hujan Tahun 2023 ...	39
Tabel 3.3 Contoh Visualisasi Kalender Tanam Tembakau .....	40
Tabel 4.1 Normalisasi Data Curah Hujan Tahun 2010–2022 .....	44
Tabel 4.2 Data Latih (Training) pada Penelitian .....	45
Tabel 4.3 Data Validasi pada Penelitian .....	45
Tabel 4.4 Data Uji (Testing) pada Penelitian .....	46
Tabel 4.5 Hasil Penelitian Pelatihan Jaringan Saraf Tiruan Metode Backpropagation .....	48
Tabel 4.6 Perbandingan Data Aktual dan Prediksi .....	58
Tabel 4.7 Hasil Prediksi Curah Hujan dengan Jaringan Saraf Tiruan .....	59
Tabel 4.8 Rekomendasi Kalender Tanam Tembakau .....	59

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Perpindahan Kalor secara Konveksi (Salsabila & Nugraheni, 2020) .....	14
Gambar 2.2 Proses Terbentuknya Awan Hasil dari Konduksi (Salsabila & Nugraheni, 2020) .....	15
Gambar 2.3 Rambatan Kalor Konveksi (Salsabila & Nugraheni, 2020) ..	15
Gambar 2.4 Perpindahan Kalor secara Konduksi (Salsabila & Nugraheni, 2020) .....	16
Gambar 2.5 Peta Geologi Kabupaten Bojonegoro .....	18
Gambar 2.6 Struktur Mikro JST (Pandjaitan, 2007) .....	21
Gambar 2.7 Arsitektur Backpropagation (Pandjaitan, 2007).....	21
Gambar 2.8 Grafik Fungsi Aktivasi Sigmoid Biner (Pandjaitan, 2007) .....	22
Gambar 2.9 Grafik Fungsi Aktivasi (Fungsi Identitas) (Pandjaitian, 2007) .....	23
Gambar 2.10 Kerangka Berpikir Peneliti .....	35
Gambar 3.1 Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation.....	37
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian .....	41
Gambar 4.1 Tampilan Antar Muka Web NASA.....	43
Gambar 4.2 Source Code MATLAB R2022b untuk Prediksi Curah Hujan .....	47
Gambar 4.3 Tampilan Antar Muka Training Result Source Code.....	47
Gambar 4.4 Desain Jaringan Saraf Tiruan pada Penelitian.....	49
Gambar 4.5 Plot Best Validation Performance .....	51
Gambar 4.6 Plot Performa Pelatihan.....	52
Gambar 4.7 Plot Hasil Analisis Regresi Nilai Prediksi dengan Nilai Aktual.....	54
Gambar 4.8 Plot Perbandingan Nilai Aktual dan Prediksi Curah Hujan ..	56

## ABSTRAK

Dianawati, Ovi. 2025. **Prediksi Curah Hujan dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) *Backpropagation* sebagai Pendukung Kalender Tanam Tembakau di Kabupaten Bojonegoro.** Skripsi. Program Studi Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing:(I) Dr.Imam Tazi M.Si (II) Mubasyiroh.S.S.,M.Pd.I

---

**Kata Kunci:** Prediksi curah hujan, Jaringan Saraf Tiruan, *Backpropagation*, Kalender tanam, Tembakau, Bojonegoro.

Produksi tembakau di Kabupaten Bojonegoro mengalami penurunan signifikan akibat ketidakpastian pola curah hujan yang dipengaruhi perubahan iklim. Sebagai solusi, penelitian ini mengembangkan model prediksi curah hujan bulanan menggunakan algoritma *Backpropagation* dalam arsitektur Jaringan Saraf Tiruan (JST) 12-15-1. Model dilatih menggunakan data meteorologi periode 2010–2022 dengan pendekatan *stratifikasi temporal*, mempertahankan urutan kronologis data untuk menghindari overfitting. Proses pelatihan melibatkan aktivasi sigmoid, evaluasi error menggunakan *Mean Squared Error* (MSE), serta pembaruan bobot dengan algoritma Levenberg-Marquardt. Hasilnya, model mencapai konvergensi dalam 9 *epoch* dengan nilai MSE  $6.96 \times 10^{-6}$  dan koefisien determinasi  $R^2$  sebesar 0.99983, hanya dalam waktu komputasi 8 detik. Prediksi curah hujan tahun 2023 menunjukkan periode kering optimal pada Juni–Agustus (0.03–0.74 mm) sebagai waktu tanam terbaik tembakau Virginia, sementara curah hujan tinggi pada September–Oktober (11.61–12.56 mm) berisiko menurunkan kualitas hasil panen. Implementasi sistem ini di lapangan menunjukkan bahwa 72% petani yang mengikuti rekomendasi kalender tanam digital berhasil meningkatkan produktivitas dengan menurunnya insiden penyakit tanaman hingga 12%. Temuan ini membuktikan bahwa model JST yang dikembangkan dapat menjadi alat prediksi cuaca presisi yang andal serta mendukung ketahanan pangan lokal dalam menghadapi perubahan iklim.

## ABSTRACT

Dianawati, Ovi. 2025. Prediksi Curah Hujan dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) Backpropogation sebagai Pendukung Kalender Tanam Tembakau di Kabupaten Bojonegoro. Skripsi. Program Studi Fisika. Fakultas Sains dan Teknologi. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing:(1) Dr.Imam Tazi M.Si (II) Mubasyiroh.S.S.,M.Pd.I

---

**Kata Kunci:** *Rainfall Prediction, Artificial Neural Network, Backpropagation, Tobacco Planting Calendar, Bojonegoro*

Tobacco production in Bojonegoro Regency has experienced a significant decline due to the uncertainty of rainfall patterns influenced by climate change. As a solution, this study developed a monthly rainfall prediction model using the Backpropagation algorithm in an Artificial Neural Network (ANN) architecture of 12-15-1. The model was trained using meteorological data from 2010 to 2022, applying a temporal stratification approach to preserve the chronological sequence of the dataset and minimize overfitting. The training process involved sigmoid activation, error evaluation using Mean Squared Error (MSE), and weight updates through the Levenberg-Marquardt algorithm. The model achieved convergence within just 9 epochs, yielding an exceptionally low MSE of  $6.96 \times 10^{-6}$  and a determination coefficient ( $R^2$ ) of 0.99983, with a computation time of only 8 seconds. Rainfall prediction results for 2023 identified the June–August period (0.03–0.74 mm) as the optimal dry window for planting Virginia tobacco, while high rainfall in September–October (11.61–12.56 mm) posed a significant risk to crop quality and disease incidence. Field implementation showed that 72% of farmers who followed the AI-generated planting calendar achieved higher productivity and reduced disease incidence to only 12%. These findings demonstrate that the developed ANN model serves as a reliable tool for precision weather forecasting and supports local food security initiatives in the face of climate change.



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1.Latar Belakang**

Peran strategis sector pertanian, khususnya komoditas tembakau, dalam perekonomian Jawa Timur tidak dapat dipandang sebelah mata. Data Badan Pusat Statistik (BPS, 2016) mengungkapkan bahwa empat kabupaten utama penghasil tembakau di Jawa Timur, termasuk Bojonegoro, secara kolektif menyumbang 2,01% terhadap Produk Domestik Regional (PDRB) provinsi tersebut. Namun demikian, produksi tembakau di Bojonegoro menunjukkan fluktuatif yang mengkhawatirkan dalam beberapa tahun terakhir. Pada tahun 2019 saja, terjadi penurunan produksi mencapai 30% yang secara signifikan berdampak pada pendapatan petani dan perekonomian regional (BPS, 2020)

Fenomena fluktuasi produksi ini tidak terlepas dari sensitivitas tanaman tembakau terhadap kondisi iklim, khususnya pola curah hujan. Sebagai tanaman yang memerlukan presisi dalam pengaturan air, tembakau sangat rentan terhadap perubahan pola hujan yang tidak terduga. Praktik pertanian konvensional yang mengandalkan pengalaman empiris tanpa dukungan prediksi cuaca akurat semakin memperparah kerentanan ini. Kondisi ini diperburuk oleh dampak perubahan iklim global yang menyebabkan anomaly cuaca semakin tidak terprediksi.

Dalam konteks ini, kebutuhan akan system prediksi curah hujan yang akurat menjadi semakin mendesak. Berbagai metode prediksi telah dikembangkan, mulai dari pendekatan statistik tradisional seperti ARIMA (*Autoregressive Intergrated Moving Average*) hingga Teknik kecerdasan buatan mutakhir. Namun, Metode

konvensional seringkali terbentur pada keterbasan dalam menangani hubungan non-linier dan kompleksitas special data cuaca (Nurain et al., 2019). Di sisi lain, Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan algoritma *Backpropogation* telah membuktikan keunggulannya dalam berbagai studi terkait.

Fakta tersebut menjadikan kita harus berfikir bagaimana menemukan cara untuk memperbaiki pola tanam tembakau khususnya agar tidak mengalami penurunan hasil panen ditahun-tahun berikutnya akibat faktor-faktor yang dapat mempengaruhi pertumbuhan tembakau, salah satunya adalah faktor musim/cuaca sebagaimana sudah dijelaskan di atas. Untuk itu diperlukan cara yang lebih akurat dan tepat guna untuk dapat memprediksi perubahan musim/cuaca. Banyak metode digunakan untuk memprediksi musim/cuaca di antaranya adalah Algoritma Jaringan Saraf Tiruan dengan Metode *Backpropogation*. Metode ini membantu manusia dan pihak terkait dalam peramalan curah hujan yang merupakan salah satu indikator perubahan musim cuaca untuk periode satu tahun kedepan. Allah SWT dalam Al-Qur'an pada Surat Az-Zumar ayat 21, menjelaskan:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنْبِيعٌ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُخْتَلِفًا

أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهَيِّجُ فَتَرْتَهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطْمًا ۚ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِأُولِي الْأَلْبَابِ

(Azmer: 21)

Artinya: “Apakah engkau tidak memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, lalu Dia mengalirkannya menjadi mata air-mata air di bumi, kemudian Dia mengeluarkannya dengannya tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu ia menjadi kering lalu engkau melihatnya kekuning-kuningan, kemudian Dia menjadikannya hancur, Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi Ulil Albab” (Az-zumar:21)

Dalam Tafsir Al-Mishbah Ayat diatas mengemukakan salah satu bukti tentang kuasa-Nya membangkitkan yang telah mati, Allah berfirman :” *Apakah engkau tidak memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, lalu Dia mengalirkannya ditanah menjadi mata air-mata air di bumi, kemudian satu hal yang lebih hebat lagi adalah Dia mengeluarkan yakni menumbuhkan – dengannya yakni disebabkan oleh air yang turun itu tanam-tanaman pertanian yang bermacam-macam jenis, bentuk, rasa dan warnanya walau air yang menumbuhkannya sama, lalu ia menjadi kering atau menguat dan tinggi lalu engkau melihatnya kekuning-kuningan setelah sebelumnya segar kehijau-hijauan, kemudian Dia menjadikannya hancur layu berderai-derai sesungguhnya pada yang demikian itu yakni proses yang silih berganti dari satu kondisi ke kondisi yang lain benar-benar terdapat pelajaran yang sangat berharga bagi Ulil Albab (Shihab, 2002).*

Menurut Sayyid Quthub Ayat diatas sebagai contoh kehidupan duniawi yang fana’. Al-Qur’an sering kali memaparkan perumpamaan-perumpamaan untuk menjelaskan hakikat kehidupan dunia yang fana’, untuk mengarahkan *Ulul Albab* memperhatikan dan menarik pelajaran darinya. Pelajaran tersebut antara lain berupa kuasa Allah membangkitkan siapapun yang telah mati. Turunnya hujan dari langit serta tumbuhnya aneka tumbuhan terlihat setiap saat. Tumbuhan itu hidup, berkembang, kemudian layu dan mati. Tidak lama kemudian, terlihat lagi di tempat yang sama tumbuhan baru. Demikian juga manusia, ia lahir kecil kemudian remaja dan dewasa lalu menua dan mati, namun setelah kematiannya itu, ia masih akan hidup lagi (Shihab,2002).

Memahami paparan dan informasi serta makna ayat-ayat Al-Qur’an tersebut, maka kita perlu melakukan penelitian terkait tentang curah hujan dalam rangka

memanfaatkannya untuk memenuhi Kebutuhan air bagi tanaman tembakau. Hasil prediksi curah hujan dapat menjadi rezeki bagi manusia untuk dimanfaatkan dalam proses penanaman semua tanaman, khususnya tembakau.

Prediksi curah hujan yang akurat merupakan kebutuhan mendesak bagi sektor pertanian, khususnya budidaya tembakau di Kabupaten Bojonegoro. Sebagai salah satu sentra produksi tembakau utama di Jawa Timur yang menyumbang 38% produksi regional (BPS, 2023), Bojonegoro menghadapi tantangan serius berupa fluktuasi produktivitas yang mencapai penurunan rata-rata 4,2% per tahun akibat ketidaktepatan pola tanam (Dinas Pertanian Bojonegoro, 2022). Sistem prediksi konvensional yang dikembangkan BMKG masih memiliki keterbatasan dalam hal akurasi dan ketergantungan pada interpretasi subjektif operator (Rivai & Deas, 2015), sementara metode statistik seperti ARIMA dan ANFIS terbukti kurang efektif menangani kompleksitas data curah hujan (Nuraini et al., 2019). Berdasarkan penelitian terdahulu, Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan algoritma *Backpropagation* menawarkan solusi lebih baik dengan tingkat akurasi mencapai 92% (Nugroho et al., 2023), seperti yang telah terbukti di Lamongan (88,38% akurasi - Cahyati, 2017) dan Lombok (99,89% akurasi - Ritonga, 2015). Namun demikian, model yang ada belum dikembangkan secara spesifik untuk karakteristik iklim mikro Bojonegoro. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model prediksi berbasis JST *Backpropagation* yang terintegrasi dengan data multi-sumber (satelit, stasiun cuaca, dan sensor IoT) serta dikalibrasi khusus untuk varietas tembakau lokal, dengan harapan dapat meningkatkan akurasi prediksi hingga 30% dan mengurangi risiko gagal panen sampai 40%. Hasil penelitian diharapkan tidak hanya memberikan kontribusi akademis dalam pengembangan model prediktif,

tetapi juga menjadi solusi praktis bagi petani tembakau di Bojonegoro dalam menghadapi tantangan perubahan iklim, sekaligus mendukung program pembangunan pertanian presisi dalam RPJMD Bojonegoro 2021-2026 dan pencapaian SDGs tujuan ke-2 (Ketahanan Pangan) dan ke-13 (Penanganan Perubahan Iklim).

Berdasarkan penjelasan dan permasalahan yang ada serta didukung oleh hasil penelitian sebelumnya sebagaimana telah diuraikan di atas, maka penelitian ini dirancang untuk menggunakan mekanisme algoritma propagasi belakang dan algoritma Artificial Neural Network (JST) untuk memperkirakan curah hujan di wilayah Bojonegoro untuk pendukung pembuatan Kalender tanam tembakau pada periode Tahun 2023. Diharapkan melalui penelitaian ini dapat meningkatkan nilai guna algoritma Jaringan Saraf Tiruan sehingga hasilnya dapat diproses untuk menentukan Kalender tanam tembakau yang bermanfaat untuk membantu memperbaiki pola tanam tembakau. Pola tanam tembakau yang baik tentunya sangat bermanfaat dalam upaya peningkatan hasil panen para petani. Untuk itu penelitian ini diberi judul: **“Prediksi Curah Hujan dengan Metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) *Backpropagation* sebagai pendukung Kalender Tanam Tembakau di Kabupaten Bojonegoro”**.

Statistik curah hujan bulanan wilayah Kabupaten Bojonegoro digunakan untuk memperkirakan curah hujan dalam penelitian ini. Metode *Backpropogation* Algoritma Jaringan Saraf Tiruan digunakan untuk menangani Data dalam rangka menentukan *error* pada setiap Data. *Error* pada Data tersebut dapat dimasukkan kedalam perhitungan Algoritma yang disebut bobot. Bobot tersebut akan menjadi perbandingan dan diaplikasikan dalam Algoritma Jaringan Saraf Tiruan, sehigga

didapatkan hasil numerik untuk menentukan curah hujan bulanan yang dapat digunakan dalam pembuatan Kalender Tanam Tembakau.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Mengingat deskripsi keseluruhan yang diberikan di atas, pernyataan studi tentang masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana tingkat akurasi dari algoritma *Backpropogation* dalam memprediksi curah hujan di Kabupaten Bojonegoro?
2. Bagaimana hasil prediksi curah hujan di Kabupaten Bojonegoro pada Tahun 2023 dengan menggunakan algoritma *Backpropogation*?

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Menganalisa pola curah hujan di Bojonegoro menggunakan data tahun 2011 – 2022
2. Membangun model prediksi curah hujan dengan JST *Backpropogation*
3. Menguji akurasi model menggunakan RMSE dan  $R^2$
4. Menyusun rekomendasi kalender tanam tembakau berdasarkan hasil prediksi

## **1.4. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat dari penulisan skripsi ini adalah:

1. Bidang Pertanian:
  - 1) Menghasilkan prediksi curah hujan untuk penyusunan kalender tanam tembakau di Bojonegoro
  - 2) Meningkatkan ketepatan waktu tanam melalui model prediksi iklim

2. Bagi Ilmu Pengetahun:
  - 1) Mengembangkan metode prediksi menggunakan *JST Backpropogation*
  - 2) Memberikan data pendukung untuk penelitian serupa
3. Bagi Kebijakan:
  - 1) Menjadi acuan dalam perencanaan pertanian berkelanjutan
  - 2) Mendukung program adaptasi perubahan iklim daerah.

### **1.5. Batasan Masalah**

Tulisan dalam penelitian ini dibatasi masalah, antara lain:

1. Variabel Penelitian:
  - 1) Menggunakan data curah hujan, suhu, atau kecepatan dan arah angin sebagai parameter prediksi
2. Lokasi dan Data:
  - 1) Studi terbatas pada wilayah Kabupaten Bojonegoro
  - 2) Menggunakan data peridose 2011-2022 dari stasiun pengamatan
3. Metodologi:
  - 1) Hanya menguji algoritma *JST Backpropogation* tanpa membandingkan dengan motede lain

## **BAB II**

### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **2.1. Curah Hujan**

Curah hujan adalah hujan (jatuhnya cairan dari atmosfer dalam bentuk cairan juga membeku di permukaan bumi). Ketika suhu di atas titik beku es di dekat permukaan bumi, hujan membutuhkan lapisan atmosfer yang tebal. Kondensasi uap air di atmosfer menyebabkan hujan. ke dalam tetesan air yang menghantam tanah. Ada dua mekanisme simultan yang dapat mendorong udara atau menambah kelembaban ke udara (Djoko, 2019).

Konveksi di atmosfer bumi dan lautan mengontrol saat hujan. Konveksi adalah proses mentransfer panas melalui pergerakan sebagian besar cairan dari satu area ke area lain. Air - termasuk limbah, air sungai, laut, dan sumber lainnya. Biasanya, air menguap baik secara alami atau melalui penggunaan panas dari matahari. Air akhirnya naik ke langit dengan uap air lainnya setelah berubah menjadi uap di udara (Joseph, 2016).

Ketika uap air mengembun di atmosfer bumi untuk menciptakan awan, jatuh ke permukaan sebagai hujan. Curah hujan mengalami sejumlah proses dan kondisi regional yang bervariasi. Sehingga, jika udara cukup dingin, uap air tekondensasi menjadi partikel – partikel di udara membentuk awan. Awan yang terbentuk selanjutnya dibawa oleh angin mengelilingi bumi, sehingga awan terdistribusi ke seluruh penjuru bumi. Ketika awan sudah tidak mampu lagi menampung air awan melepas uap air ke dalam bentuk presipitasi (*precipitation*) yang dapat berupa salju, hujan dan hujan es (Sosrodasono, 1977). Oleh karena itu setiap Daerah yang luas

memiliki curah hujan yang tidak merata dengan jumlah curah hujan yang bervariasi (Rachman, 2018).

### 2.1.1. Curah Hujan dalam perspektif Islam

Al-Qur'an menjelaskan beberapa fenomena alam yang terjadi pada bumi. Salah satunya yakni proses terjadinya hujan. Beberapa ayat di Al-Qur'an menggambarkan proses terjadinya hujan. Yakni, Awan tebal bermula ketika angin atas kuasa Allah menggiring atau mengarak kawanan awan kecil ke *zona convergence*. Pengarahan bagian-bagian awan menyebabkan bertambahnya kualitas (jumlah) uap dalam perjalanannya terutama disekitar zona. Apabila dua awan atau lebih awan menyatu, maka arus udara yang naik di dalam awan akan bertambah, hal ini menyebabkan datangnya tambahan uap air dari bagian bawah dasar awan yang perannya menambah potensi yang terpendam untuk berakumulasi. Awan tebal bergerak kemana saja sesuai arah gerak angin yang dikehendaki Allah, sedang faktor akumulasi dan pembangunannya akan terus-menerus sepanjang arus udara yang naik mampu membawa formasi awan dari titik-titik air, atau butir-butir embun. Ketika angin tidak mampu membawa formasi itu karena telah bergumpal-gumpal dan menyatu, maka proses akumulasi terhenti dan hujan pun turun. Demikian penjelasan ilmuwan terkait proses terjadinya hujan dan peranan angin dan awan, yang sepenuhnya sejalan dengan ayat dibawah (Shihab,2002).

Hal ini sudah dijelaskan dalam QS. Ar- rum 48:

اللَّهُ الَّذِي يُرْسِلُ الرِّيَّاحَ فَتُثِيرُ سَحَابًا فَيَبْسُطُهُ فِي السَّمَاءِ كَيْفَ يَشَاءُ  
فَتَرَى الْوَدْقَ يَخْرُجُ مِنْ خِلَالِهِ ۗ فَإِذَا أَصَابَ بِهِ مَنْ يَشَاءُ وَيَجْعَلُهُ كِسْفًا  
مِنْ عِبَادِهِ إِذَا هُمْ يَسْتَبْشِرُونَ (الر: ٤٨)

Artinya: *“Allah, Dialah yang mengirim angin, lalu angin itu menggerakkan awan dan Allah membentangkannya di langit menurut yang dikehendaki-Nya, dan menjadikannya bergumpal-gumpal; lalu kamu lihat hujan keluar dari celah-celahnya, maka apabila hujan itu turun mengenai hamba-hamba-Nya yang dikehendaki-Nya, tiba-tiba mereka menjadi gembira”*(Ar-rum:48)

Dalam tafsir Al-Mishbah, Ayat diatas menjelaskan kerja angin dalam konteks hujan serta proses turunnya hujan. Ayat diatas menyatakan bahwa : Allah SWT, yang dari waktu ke waktu *yang mengirim* aneka *angin, lalu ia* yakni angin itu *menggerakkan awan dan Allah* melalui hukum-hukum alam yang ditetapkannya *membentangkannya di langit* yakni awan, *sebagaimana* yakni dengan cara dan bentuk apapun *yang dikehendakinya* dan menuju lokasi mana pun yang ditetapkannya. Sekali dia menjadikan awan terbentang dilangit sedemikian rupa, *dan di dia mejadikannya bergumpal-gumpal lalu* siapapun engkau *melihat hujan keluar dari celah-celahnya* awan itu, *maka apabila Allah mencurahkan* yakni hujan yang turun atas izin Allah itu *kepada siapa yang dia kehendaki dari hamba-hambanya, tiba-tiba* dengan segera dan serta merta begitu hujan turun *mereka bergembira* (Shihab,2002).

Salah satu bentuk perbuatan baik terhadap makhluk tak hidup adalah menggunakan air dengan sebaik-baiknya, yang merupakan akar dan pilar terciptanya kehidupan. Allah befirman *“Dan Allah telah menciptakan semua hewan dan air”* (An-Nur:45) dan disebutkan dalam ayat lain *“Dan dari air kami jadikan segala sesuatu yang hidup”* (Al-Anbiya:30).

Dengan demikian jauh sebelum adanya ilmu biologi modern, Al-Qur'an telah menegaskan bahwa air adalah sumber kehidupan. Sudah sejak dahulu keberadaan air sebagai faktor utama yang mendorong manusia untuk menetap, dan secara otomatis mendorong majunya peradaban mereka. Dimana terdapat sumber air,

disitu pula ditemui tanda-tanda kehidupan (Yusuf,2002). Pada kesempatan berbeda, Al-Qur'an mengisyaratkan pentingnya air hujan. *“Dan dialah yang menurunkan air hujan dari langit, lalu kami tumbuhkan dengan air itu segala macam tumbuh-tumbuhan”* (Al-An'am:99).

Terdapat sabda Nabi Muhammad SAW yang termasuk dalam hadist riwayat Abdullah bin Umar ra, yang menyatakan bahwasanya Rasulullah bersabda:

*“Kunci kegaiban ada lima dan tidak ada yang mengetahuinya kecuali hanya Allah. Tidak ada yang mengetahui apa yang akan terjadi esok hari kecuali hanya Allah. Tidak ada yang mengetahui apa yang dikandung dalam rahim kecuali hanya Allah. Tidak ada yang mengetahui kapan hujan turun kecuali hanya Allah. Tidak ada yang mengetahui dibumi mana ia akan meninggal kecuali hanya Allah dan Tidak ada yang mengetahui kapan kiamat terjadi kecuali hanya Allah. (Shahih Al-Bukhoriy, Hadis nomor 4697).*

Kelima kunci kegaiban ini termasuk gaib yang hanya diketahui oleh Allah, penelitian ini akan membahas persoalan ketiga saja yaitu tentang hujan:

فأما من قال مطرنا بفضل الله ورحمته فذلك مؤمن بالله وكافر بالكواكب

كب

*“Barangsiapa yang mengatakan kami dihujani oleh anugerah dari rahmat Allah, maka itulah hamba yang mukmin kepada-ku dan kafir dengan bintang”* (Shahih Al-Bukhoriy, kitab Al-Adzan).

Hujan adalah rezeki, sementara rezeki tiada lain hanyalah dari Allah, jika hujan merupakan azab, tidak ada pula yang menurunkan azab kecuali hanya Allah. Hujan merupakan proses yang sangat kompleks. Faktor-faktor yang menyebabkannya pun termasuk hal-hal yang tidak dapat dikontrol oleh makhluk, dan hujan terjadi melalui sejumlah reaksi ilmiah dan kimia yang belum diketahui sepenuhnya, di antaranya perkisaran angin, penguapan air dari titik-titik air,

kemudian pengumpulan uap air yang dari berbagai aktivitas kehidupan. Juga pemindahannya melalui angin menggerakkan awan, memadukannya dan membentangkannya di langit, menggumpalkannya di atas ruang reaksi tertinggi lapisan gas bumi. Angin terus-menerus menyuplainya dengan uap air yang semakin memperkayanya dengan partikel-partikel debu yang bekerja seperti benih untuk yang menebalkannya, sehingga membentuk buliran-buliran kecil air hingga pada volume yang sesuai untuk menimbulkan hujan deras atau es. Selama proses berlangsung, awan terus bergerak sehingga tidak ada yang bisa diketahui dimana hujan akan turun, berapa kadarnya, dan kapan hujan ini turun kecuali hanya Allah SWT (Zaghlul, 2011).

Di antara faktor-faktor yang memengaruhi proses ini adalah jumlah dan jenis muatan listrik pada satu awan, juga pada awan-awan yang saling berbenturan, serta pengaruh angin violet di atas atmosfer bumi, dan masih banyak lagi faktor-faktor lain baik yang telah diketahui maupun yang belum diketahui (Carin & Sund, 1989). Di samping itu, awan tidak pernah membawa uap air kecuali hanya 2% lebih dari uap air yang ada dalam lapisan gas bumi. Kadarnya kira-kira hanya 1.500 km<sup>3</sup>. Kandungan air yang ada di dalamnya berbentuk tetesan yang sangat kecil dalam jumlah tidak lebih dari 1:1.000 mm (Collete & Chiapetta, 1994). Tetesan lembut ini bercampur dengan unsur-unsur udara yang sangat lengket sehingga tidak dapat jatuh, kecuali ketika proses percampuran sudah sempurna.

Proses ini ditandai dengan semakin bertambahnya uap air atau percampuran awan dengan partikel-partikel debu yang diterbangkan angin di atas permukaan bumi dan benih ketebalan yang membantu menurunkan air dari awan atas izin Allah. Proses ini berlangsung dengan menyatunya awan satu dan lainnya dengan

keragaman tingkat suhu panas, kelembaban, muatan listrik, dan sifat-sifat lain. Dari sini sudah jelas kiranya bahwa turunnya hujan pada hakikatnya adalah rahasia alam yang tidak dapat diketahui dan dikontrol kecuali hanya oleh Allah SWT.

Meskipun para ilmuwan berusaha sekuat tenaga untuk memahami bagaimana proses pembentukan dan penurunan hujan dari beragam awan yang mengandung uap air dan buliran-buliran kecil air, namun mereka tetap tidak dapat menjangkau dan mengendalikannya. Proses ini benar-benar berada di luar kemampuan manusia, meski dengan segala kemajuan sains dan teknologi yang mereka capai sekalipun. Hal tersebut semakin ditegaskan oleh berbagai percobaan penurunan hujan dari awan dengan cara menyemprotkan sejumlah unsur-unsur kimia yang memiliki kepekaan yang tinggi terhadap air. Meski berhasil, namun mereka tetap tidak mampu sama sekali untuk mengatur dan mengontrol posisi-posisi penurunannya. Fakta ini semakin mempertegas fakta yang telah diungkapkan oleh Rasulullah dengan sabdanya.

Penjelasan dan Ayat dan Hadits diatas menjelaskan bahwasanya Allah telah mengatur semua yang ada di bumi sesuai dengan kebutuhan tanpa berlebihan dan kekurangan, perlu diketahui terdapat beberapa perbedaan intensitas curah hujan yang terjadi di bumi, intensitas curah hujan sendiri dapat digunakan sebagai tolak ukur terjadinya hujan dalam satuan waktu yang dapat digunakan untuk menganalisa waktu dan curah hujan yang dibutuhkan.

### **2.1.2. Intensitas curah hujan**

Derajat curah hujan biasanya dinyatakan oleh jumlah curah hujan dalam satu satuan waktu dan disebut intensitas hujan. Intensitas curah hujan biasanya dinyatakan oleh jumlah curah hujan dalam satuan waktu dan disebut intensitas

curah hujan. Biasanya satuan yang digunakan adalah mm/jam. Jadi intensitas curah hujan adalah jumlah presipitasi/curah hujan dalam waktu trelatig singkat ( biasanya dalam 2 jam). Intensitas curah hujan ini dapat diperoleh dari kemiringan kurva (tangens kurva) yang dicatat oleh alat ukur curah hujan otomatis (Sosrodarsono, 1997).

Intensitas curah hujan dapat dilihat dalam Tabel 1.1 dan sifat curah hujan . Seperti diperlihatkan dalam tabel, curah hujan tidak bertambah sebanding dengan waktu. Jika waktu ditentukan lebih lama, maka penambahan curah hujan adalah lebih kecil dibandingkan dengan penambahan waktu, karena terkadang curah hujan bekurang atau berhenti (Sosrodarsono, 1997).

**Tabel 1.1** Derajat curah hujan dan intensitas curah hujan (Sabarudin, 2012)

<b>Derajat hujan</b>	<b>Intensitas curah hujan (mm/min)</b>	<b>Kondisi</b>
Hujan sangat lemah	<0,02	Tanah agak basah atau dibasahi sedikit
Hujan lemah	0,02-0,05	Tanah menjadi basah semuanya, tetapi sulit membuat puddel
Hujan normal	0,05-0,25	Dapat dibuat puddel dan bunyi curah terdengar jelas
Hujan deras	0,25-1	Air tergenang diseluruh permukaan tanah dan bunyi keras hujan terdengar dari genangan

Hujan sangat deras	>1	Hujan seperti ditumpahkkan, saluran dan drainase meluap
--------------------	----	---

*Sumber: Sosrodarsono dan Takeda (1983)*

Sedikit banyaknya jumlah air hujan yang jatuh pada permukaan tanah yang rata untuk jangka waktu tertentu dan diukur dalam milimeter (mm) di atas permukaan (Manalu, 2016) dinyatakan sebagai curah hujan. Dengan kata lain, Curah hujan, dengan asumsi tidak mengalir, menyerap, atau menguap, dapat didefinisikan sebagai volume air hujan yang signifikan pada permukaan yang rata. (Cahyati, 2019). Ketebalan permukaan air hujan digunakan untuk mewakili seberapa besar curah hujan, pada waktu tertentu, mencapai tanah atau permukaan bumi dalam pipa. Jika permukaan air hujan menutupi bagian atas proyeksi horizontal bumi dan tidak dapat hilang dari penguapan, limpasan, atau infiltrasi. Akibatnya, pengukuran curah hujan dapat dijelaskan dalam milimeter (mm). Sebelum adanya intensitas curah hujan pada tanah. Terdapat proses secara fisika yang terjadi pada proses hujan. Berikut ini adalah Kajian fisika pada proses terjadinya proses hujan (Joseph, 2016):

### **2.1.3. Kajian fisika pada proses hujan**

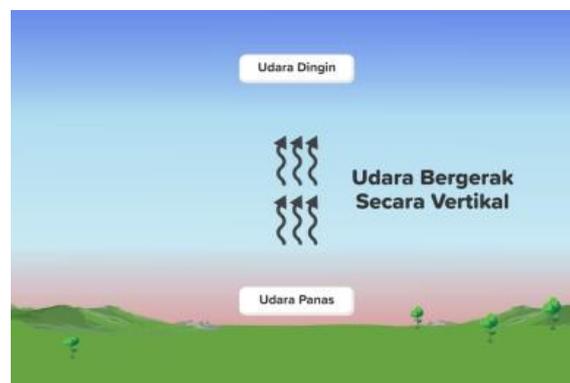
Terjadinya hujan dipengaruhi oleh konveksi di atmosfer bumi dan lautan. Konveksi adalah proses pemindahan panas oleh gerak massa suatu fluida dari suatu daerah ke daerah lainnya. Air-air yang terdiri dari air laut, air sungai, air limbah, dan sebagainya tersebut umumnya mengalami proses penguapan atau evaporasi akibat adanya bantuan dari panas matahari. Air tersebut kemudian menjadi uap menuju udara dan bergerak menuju langit bersama uap air. Sesampainya di awan, uap air mengalami proses pemadatan atau biasa disebut *kondensasi* sehingga terbentuk awan. Karena terlalu berat awan menjatuhkan butiran air atau es ke permukaan

bumi yang disebut juga proses *presipitasi*. Berikut ini penjabaran perpindahan kalor pada proses hujan dalam kajian fisika:

a. Perpindahan kalor pada terjadinya hujan

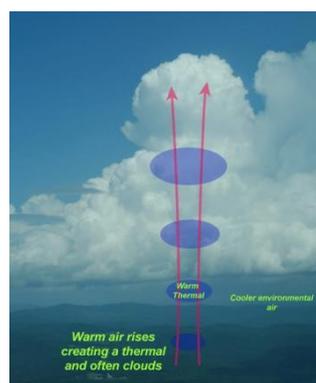
a) Secara Konveksi

Panas ditransfer melalui konveksi ketika fluida dipindahkan dalam massa naik atau turun di ruang angkasa (Andrea Lang, 2014) Panas ditransfer melalui konveksi, yang juga melibatkan perbanyakan temporal vertikal (atas / bawah).



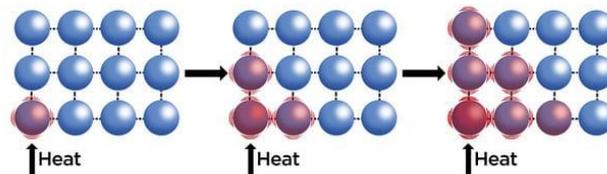
**Gambar 2.1** Proses perpindahan kalor secara konveksi (Salsabila & Nugraheni, 2020)

Penyebaran panas konveksi terjadi dalam cairan atau agen aliran, seperti cairan, gas, atau udara.



**Gambar 2.2** Proses Terbentuknya awan hasil dari konduksi (Salsabila & Nugraheni, 2020)

Udara dingin lebih berat daripada udara hangat karena udara hangat memiliki kepadatan yang lebih rendah. Permukaan bumi terpapar radiasi matahari sepanjang hari. Molekul memanaskan pada lapisan permukaan tipis karena konduksi. Padahal udara adalah konduktor panas yang buruk. Akibatnya, area permukaan molekul udara ini tidak mudah menghantarkan panas. Banyak dari massa udara hangat ini bergerak ke atas karena kepadatannya yang lebih rendah dan disebut sebagai penopang terbang. Agar udara dingin dapat menggantikan udara panas (Joseph, 2016).



**Gambar 2.3** Rambatan kalor Konveksi (Salsabila & Nugraheni, 2020)

Ketika udara bergerak ke atas, Udara di atas atmosfer menjadi lebih dingin semakin rendah tekanan udaranya. Ini konsisten dengan persamaan matematika yang menggambarkan bagaimana tekanan udara dan ketinggian terkait (Giancoli, n.d.) :

$$ph = \left( pu - \frac{h}{100} m \right) cmHg$$

Dimana:

Ph = Tekanan udara secara lokal (cmHg)

Pu = Tekanan dalam udara 76 cmHg

H = Tinggi tempat yang sudah diketahui (m)

**Serta persamaan gas ideal** (Giancoli, n.d.)

$$P V = nRT$$

Dimana :

P = Tekanan

V = Volume

T = Suhu

n = Jumlah mol

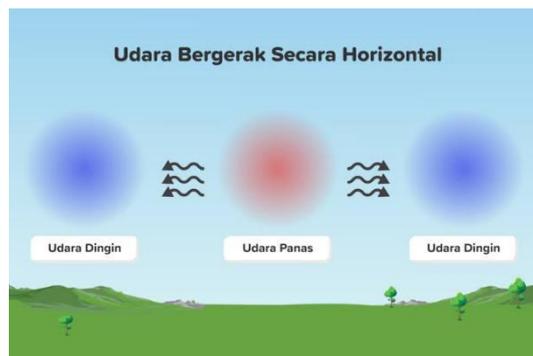
R = Konstanta gas secara umum

= 8,31 J/mol-K

= 0,082 Latm/mol-k

Dimana ditunjukkan bahwa perubahan suhu sebanding dengan tekanan dan volume.

b) Secara konduksi



**Gambar 2.4** Perpindahan kalor secara konduksi (Salsabila & Nugraheni, 2020)

Pengangkutan panas ke horizontal (utara, timur, barat, dan selatan) dikenal sebagai adveksi. Angin menderu-deru dalam metrologi. Di bumi, dapat terjadi kapan saja (Joseph, 2016). Peristiwa air atau es menjadi uap dan naik ke udara disebut penguapan dan berlangsung tidak berhenti – berhenti dari permukaan air, permukaan tanah, padang rumput, persawahan, hutan dan lain – lain. Penguapan ini terjadi setiap keadaan suhu, sampai udara di atas permukaan menjadi jenuh dengan uap. Tetapi kecepatan dan jumlah penguapan tergantung dari suhu, kelembapan, kecepatan angin dan tekanan atmosfer (Sabarudin, 2012).

Hubungan antara penguapan dan kelembapan (*humidity*): dapat diperkirakan dengan rumus eksperimental dari Mitscherlich (Sosrodarsono, 1997):

$$D = (12,3 \pm 0,1)V$$

Dimana :

$V$  = jumlah penguapan dalam 24 jam (mm)

$D$  = selisih kejenuhan = selisih berat antara jumlah uap yang jenuh dalam satuan isi (g) dengan jumlah uap saat itu (g).

Keadaan cuaca adalah salah satu syarat yang penting untuk pengolahan pertanian. Dengan memperhatikan keadaan cuaca dan cara pemanfaatannya maka dapat dilaksanakan penanaman tanaman yang tepat untuk periode yang tepat dan sesuai dengan keadaan tanah.

#### **2.1.4. Hubungan cuaca dan tanaman**

Cuaca dapat digunakan untuk rasionalisasi pemberian pupuk, menghindari kerusakan-kerusakan akibat penyakit, serangga, dan pemberian bahan kimia pembersihan rumput. Demikian pula pemanfaatan sebaik-baiknya cuaca mikro, karena dengan pengontrolan cuaca, dapat diperoleh hasil pertanian yang baik. Faktor – faktor cuaca yang penting untuk pertanian adalah jumlah jam penyinaran matahari dan radiasi matahari. Jumlah jam penyinaran matahari menentukan tingkat pembungaan tanaman dan radiasi matahari menentukan kenaikan suhu. Suhu mempengaruhi tingkat – tingkat pertumbuhan permulaan, pembungaan, pematangan dan panen tanam. Oleh sebab itu, maka terdapat/ditentukan harga-harga yang memberikan gambaran mengenai hubungan antara suhu dengan faktor perkembangan tanaman (Yudiarti, 2007).

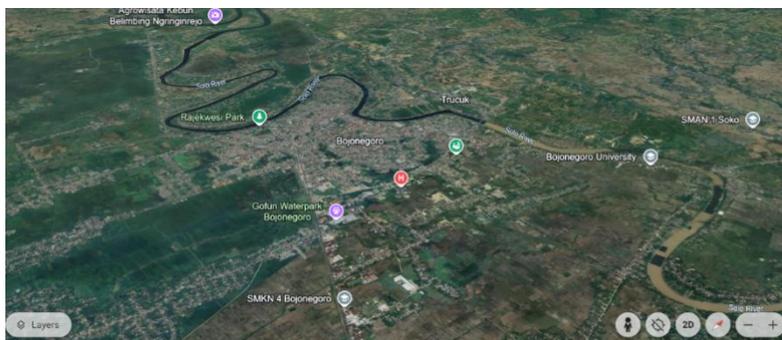
Suhu mempengaruhi tanaman pada laju proses-proses metabolisme. Pengaruh suhu terutama pada laju perkembangan tanaman seperti pada perkecambahan, pembentukan daun, dan inisiasi organ reproduktif (Usman, 1993). Tanaman tembakau sendiri sangat membutuhkan sinar matahari dan radiasi matahari dalam proses pertumbuhan hingga masa panen agar tidak terjadi pembusukan dalam proses pertumbuhannya dan dalam proses pengeringan harus mendapatkan paparan sinar matahari secara langsung untuk tetap menjaga kualitas dan kuantitas hasil tembakau yang dapat berkurang kuantitasnya ketika dilakukan pengeringan menggunakan mesin. Oleh sebab itu beberapa metode prediksi dapat dilakukan untuk mengatur pola tanam tembakau agar tetap mendapatkan sinar dan radiasi matahari yang membantu proses pertumbuhan sampai masa panen.

## **2.2. Geologi Daerah Penelitian**

### **2.2.1. Geografis Wilayah**

Lokasi penelitian berada di Kabupaten Bojonegoro tepatnya terletak pada koordinat geografis antara 6°53' Lintang Selatan (LS) hingga 7°30' Lintang Selatan (LS). Titik terutara 6°53' LS (sekitar perbatasan dengan Kabupaten Tuban). Titik terselatan 7°30' LS (wilayah Pegunungan Kendeng di perbatasan dengan Kabupaten Ngawi), Posisi di zona tropis dengan iklim basah-kering (muson). Wilayah utara (dekat 6°53' LS) lebih datar dan subur, sedangkan selatan (mendekati 7°30' LS) berbukit kapur dengan curah hujan lebih rendah. Hampir sejajar dengan Kota Surabaya (7°15' LS) tetapi lebih utara dibanding Kota Madiun (7°35' LS). letak 6°53'–7°30' Lintang Selatan (LS) menempatkan Bojonegoro di zona iklim tropis basah-kering (muson), yang memengaruhi pola iklim, kesuburan tanah, dan sistem pertanian. Bojonegoro mengalami musim hujan (November–

Maret) dan kemarau (April–Oktober) akibat pengaruh angin muson. Adapun peta geologi daerah penelitin dapat dilihat pada gambar.



**Sumber: Situs Pemkab Bojonegoro (<https://bojonegorokab.go.id>)**  
**Gambar 2.1** Peta Geologi Kabupaten Bojonegoro

Bojonegoro memiliki variasi topografi dari dataran aluvial (utara) hingga pegunungan kars (selatan). Studi Sutikno et al. (2015) menjelaskan bahwa Pegunungan Kendeng di selatan Bojonegoro terbentuk dari batuan kapur berusia Neogen, yang berpengaruh pada kesuburan tanah dan pola hidrologi. Wilayah utara, sebagai bagian dari Depresi Randublatung, didominasi endapan aluvial Bengawan Solo yang subur (Bemmelen, 1949). Karakteristik Curah hujan lebih tinggi di selatan (Pegunungan Kendeng) karena efek demorografis, sementara utara (dataran Bengawan Solo) lebih kering. Wilayah  $7^{\circ}$  LS ke selatan (e.g., Kecamatan Ngraho, Padangan) memiliki hari hujan lebih sedikit (<100 hari/tahun) dibanding utara (BPS, 2023). Suhu Rata-Rata mencapai  $24\text{--}32^{\circ}\text{C}$  (BMKG, 2023). Daerah lebih dekat ke ekuator ( $6^{\circ}53'$  LS) seperti Kalitidu cenderung lebih panas dengan evaporasi tinggi. Wilayah selatan ( $7^{\circ}30'$  LS) lebih sejuk karena ketinggian (e.g., Kecamatan Sekar). Data BMKG mencatat kenaikan  $0.5\text{--}1^{\circ}\text{C}$  dalam 30 tahun, memperpanjang musim kemarau di selatan. Frekuensi hujan ekstrem meningkat di utara (risiko banjir Bengawan Solo).

### **2.2.2. Hidrologi**

Sistem sungai di Bojonegoro, terutama Bengawan Solo, berperan vital bagi pertanian dan mitigasi banjir. Penelitian Wibowo et al. (2018) menyebutkan bahwa degradasi DAS Bengawan Solo meningkatkan risiko banjir di Bojonegoro, terutama di Kecamatan Kalitidu dan Kapas. Bojonegoro beriklim tropis basah dengan curah hujan 1.500–2.500 mm/tahun (BPS Bojonegoro, 2023). Menurut Thornthwaite (1948), pola iklim ini mendukung pertanian padi di utara dan tembakau/kapas di selatan. Namun, perubahan iklim global berdampak pada pergeseran musim tanam (Kartikasari et al., 2020). Lahan sawah di Bojonegoro mencapai 30% dari total wilayah (BPS, 2023), menjadikannya salah satu lumbung padi Jawa Timur. Namun, penelitian Rahayu (2017) menunjukkan bahwa alih fungsi lahan ke industri migas di Kecamatan Gayam mengancam ketahanan pangan. Kabupaten Bojonegoro memiliki Jenis tanaman dominan dibebarapa wilayah Wilayah Utara ( $6^{\circ}53'$ – $7^{\circ}10'$  LS) Padi sawah (memanfaatkan irigasi Bengawan Solo), Palawija (jagung, kedelai) di musim kemarau dan di wilayah selatan ( $7^{\circ}10'$ – $7^{\circ}30'$  LS) Tembakau dan kapas (adaptasi lahan kering) dan Hortikultura (bawang merah, cabai) dengan sistem tadah hujan.

### **2.3. Jaringan Saraf Tiruan Metode *Backpropogation* (Propagasi Balik)**

Teknologi JST yang berkembang merupakan solusi persoalan komputasi yang tidak dapat diselesaikan oleh Komputer konvensional. Kemudian, JST belajar dari conoth yang disebut set pelatihan. Karena belajar dari contoh, JST mempunyai potensi membangun system komputasi sebagai hasil pemetaan hubungan masukan dan keluaran yang ada dalam sistem. Set pelatihan dikenal sebagai pola pelatihan berupa suatu vector dan didapatkan dari sumbe citra, sinyal suara, data dari sensor,

data keuangan, dan informasi. Secara garis besar, proese belajar JST dapat dibagi menjadi 2 (Pandjaitan, 2007):

1. JST yang menggunakan paket pelatihan sebagai proses belajar dan dikenal sebagai proose belajar dengan pengawasan.
2. JST tanpa paket pelatihan pada proses belajar umumnya disebut proses belajar tanpa pengawasan.

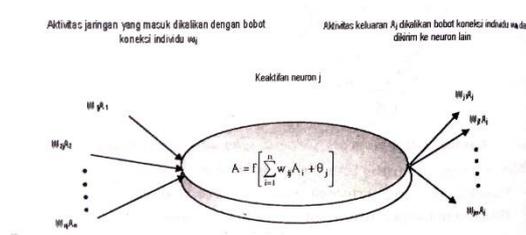
Setelah prosedur pelatihan pengenalan dilakukan berulang – ulang dan berhasil, JST yang sama dapat dilatih kembali untuk mengklasifikasikan dan melengkapi set yang baru (Pandjaitan, 2007). Kemampuan dan proses komputasi pada JST memberikan keuntungan sebagai berikut (Pandjaitan, 2007):

1. JST bersifat adaptif terhadap perubahan parameter yang mempengaruhi karakteristik system.
2. JST memiliki kekebalan atau toleran terhadap kesalahan.
3. JST dapat dilatih memberikan keputusan dengan membeirkan set pelatihan sebelumnya untuk mencapai target tertentu.
4. JST mempunyai struktur parallel dan tedistribusi.
5. JST mampu mengklasifikasikan pola masukan dan pola keluaran
6. JST mampu mengurangi derau.
7. JST dapat dimanfaatkan pada proses optimasi penyelesaian suatu masalah.
8. JST dapat digunakan pada proses pengendalian sistem agar masukan memperoleh tanggapan yang diinginkan.

Jaringan Saraf Tiruan merupakan teknologi komputasi yang masih terus berkembang, fungsi – fungsi jaringan yang dikehendaki JST mempunyai 3 elemen dasar, sebagai berikut (Pandjaitan, 2007):

1. Topologi, bagaimana mengorganisasikan dan menginterkoneksi jaringan menggunakan lapisan elemen pemrosesan sehingga terbentuk JST.
2. Proses Belajar, bagaimana informasi disimpan dalam JST.
3. Pemanggilan atau pemrosesan kembali, bagaimana informasi yang disimpan dapat diproses kembali.

Faktor paling menentukan keaktifan suatu neuron adalah fungsi transfer yang biasa dikenal sebagai fungsi aktivasi, yang mengaktifkan neuron. Fungsi aktivasi menentukan bagaimana suatu neuron menanggapi sinyal – sinyal masukan, sehingga terjadi aktivitas satu neuron. Jika aktivitas neuron kuat, maka neuron menghasilkan sinyal keluaran yang dapat dihubungkan ke neuron lain. Struktur mikro jaringan dapat dilihat pada Gambar sebagai berikut:

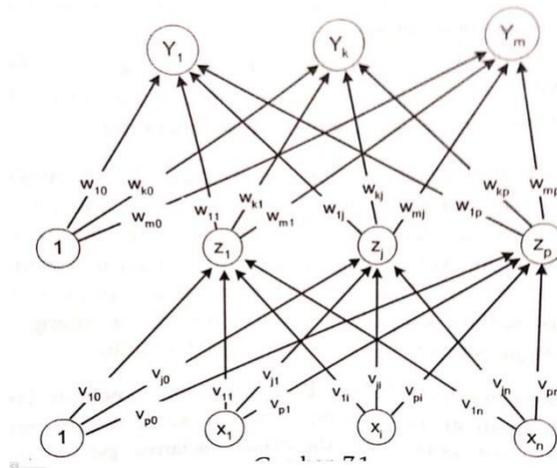


**Gambar 2.2** struktur mikro JST (Pandjaitan, 2007)

Pada proses ini Jaringan Saraf Tiruan yang digunakan adalah metode *Backpropogation*, seperti halnya JST, *Backpropogation* melatih jaringan untuk mendapatkan keseimbangan antara kemampuan jaringan untuk mengenali pola yang digunakan selama pelatihan serta kemampuan jaringan untuk memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa (tapi tidak sama) dengan pola yang dipakai selama pelatihan. Terdapat aritektur dan fungsi aktivasi yang digunakan untuk melakukan proses pelatihan jaringan ini (Pandjaitan, 2007).

### 2.3.1. Arsitektur Backpropogation

*Backpropogation* memiliki beberapa unit yang ada dalam satu atau lebih layer tersembunyi. Gambar adalah arsitektur *backpropogation* dengan n buah masukan (ditambah sebuah bias), sebuah layer tersembunyi yang terdiri dari p unit (ditambah sebuah bias), serta m buah unit keluaran.  $V_{ji}$  merupakan bobot garis dari unit masukan  $x_i$  ke unit layer tersembunyi  $z_j$  ( $V_{j0}$  merupakan bobot garis yang menghubungkan bias di unit masukan ke unit layer tersembunyi  $z_j$ ).  $W_{kj}$  merupakan bobot dari unit layer tersembunyi  $Z_j$  ke unit keluaran  $y_k$  ( $w_{k0}$  merupakan bobot dari bias di layer tersembunyi ke unit keluaran  $z_k$ ) (Siang, 2004)



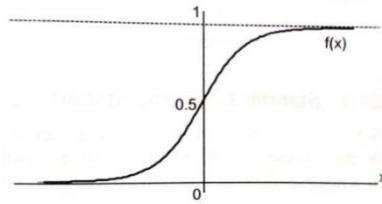
**Gambar 2.3** arsitektur *Backpropogation* (Pandjaitan, 2007)

### 2.3.2. Fungsi Aktivasi

Dalam *Backpropogation*, fungsi aktivasi yang dipakai harus memenuhi beberapa syarat yaitu: kontinu, terdiferensial dengan mudah dan merupakan fungsi yang tidak turun. Salah satu fungsi yang memenuhi ketiga syarat tersebut sehingga sering dipakai adalah sigmoid biner yang memiliki range (0,1) (Siang, 2004).

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \text{ dengan turunan } f'(x) = f(x)(1 - f(x))$$

Grafik fungsi tampak pada gambar 2.4.



**Gambar 2.4** grafik fungsi aktivasi sigmoid biner (Pandjaitan, 2007)

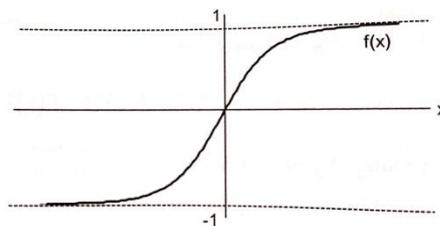
Fungsi lain yang sering dipakai adalah fungsi sigmoid bipolar yang bentuk fungsinya mirip dengan fungsi sigmoid biner, tapi dengan range  $(-1,1)$ .

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-x}} - 1 \text{ dengan turunan } f'(x) = \frac{f(1 + f(x))(1 - f(x))}{2}$$

Grafik fungsi terdapat pada gambar dibawah

Fungsi sigmoid memiliki nilai maksimum = 1. Maka untuk pola yang targetnya  $>1$ , pola masukan dan keluaran harus terlebih dahulu ditransformasi sehingga semua pola memiliki range yang sama seperti fungsi sigmoid yang diterapkan. Alternative lain adalah menggunakan fungsi aktivasi sigmoid hanya pada layar yang bukan layar keluaran. Pada layar keluaran, fungsi aktivasi yang dipakai adalah (Siang, 2004):

$$f(x) = x$$



**Gambar 2.5** Grafik fungsi aktivasi (fungsi identitas) (Pandjaitan, 2007)

*Bacpropogation* dapat diaplikasikan dalam berbagai bidang salah satunya dalam bidang prediksi. Dibawah ini terdapat penjelasan Jaringan Saraf Tiruan *Backpropogation* pada aplikasi ilmu prediksi.

### 2.3.3. Aplikasi *Backpropogation* dalam prediksi

Salah satu bidang dimana *Backpropogation* dapat diaplikasikan dengan baik adalah bidang prediksi (*forecasting*). Dengan *Backpropogation*, *record* data digunakan sebagai data pelatihan untuk mencari bobot yang oprimal. Untuk itu perlu menetapkan besarnya periode data yang befluktuasi. Periode ditentukan secara intuitif. Misalkan pada data besarnya debit air sungai dengan data bulanan, peiode data dapat diambil selama satu tahun karena pergantian musim terjadi selama satu tahun, sepertinya halnya data curah hujan (Siang, 2004). Jumlah data dalam satu periode ini dipakai sebagai jumlah masukan dalam *Backpropogation*. Sebagai targetnya diambil data bulan pertama setelah peiode terakhir. Pada data bulanan dengan periode satu tahun, maka masukan *Backpropogation* yang dipakai terdiri dari 12 masukan, keluaran adalah 1 unit (Siang, 2004).

Bagian tersulit adalah menentukan jumlah layar (dan unitnya). Tidak ada teori yang dengan pasti dapat dipakai. Tapi secara praktis dicoba jaringan yang kecil terlebih dahulu (misal terdiri dari 1 layar tersembunyi dengan beberapa unit saja). Jika gagal (kesalahan tidak turun dalam epoch yang besar) atau dapat disebut *Trial Error*, maka jaringan diperbesar dengan menambahkan unit tersembunyi atau bahkan menambah layar tersembunyi (Siang, 2004).

## 2.4. Kalender Tanam Tembakau

Dengan perkembangan teknologi terbaru pada berbagai daerah pedesaan, siklus alam sudah sangat dimodifikasi, akibatnya para petani cenderung mengabaikan nilai pranata mangsa ataupun Kalender pertanian lainnya. Selain itu, kenyataan perubahan iklim sudah terjadi baik secara dunia (Yeli & Elza, 2019),

regional (Sanderson 2003, Paw dan Thua 1991) ataupun lokal (Zhu & Wang, 2020). juga sangat mempengaruhi aktifitas pertanian. syarat ini sebagai keresahan bagi petani untuk menentukan waktu tanam terbaik. oleh karena itu, perlu dilakukan studi mengenai waktu tanam (*planting time*) dan panen (*harvesting time*) sebab adanya pergeseran dampak perubahan iklim (Zhu & Wang, 2020), yang dibutuhkan bisa membantu petani di dalam memutuskan kapan waktu tanam terbaik.

Kalender penanaman adalah Contoh cara menanam beberapa varietas tanaman sepanjang waktu tertentu. Jadwal penanaman ini dibuat menggunakan prediksi curah hujan berdasarkan hasil Data yang dikumpulkan tentang curah hujan. Ada dua faktor yang dapat dipertimbangkan ketika memilih jadwal penanaman: jumlah curah hujan dan jumlah waktu yang dibutuhkan tanaman dari periode penanaman hingga masa panen. (Rasovan, 2019).

Faktor penentu waktu tanam tanam umumnya ditentukan beberapa hal. Pertama, faktor ketersediaan air. dari wawancara menggunakan petani, faktor primer yg harus diperhatikan artinya ketersediaan atau pasokan air. asal air pertanian umumnya adalah langsung berasal curah hujan, air pasang, juga berasal waduk atau dam, kedua, faktor energi kerja. Sekalipun air tersedia, terkadang petani masih harus menunggu ketersediaan tenaga kerja. Ketiga, faktor ketersediaan produksi benih/bibit. Peningkatan produktivitas pertanian, sangat erat keterkaitannya dengan ketersediaan benih bermutu. Sifat yang dimiliki oleh benih bermutu antara lain berdaya yang akan terjadi tinggi, tahan terhadap hama serta penyakit, umur cepat berbuah serta bisa dikembangkan pada pola tanam eksklusif. Keempat, faktor ketersediaan pupuk. Jika ketersediaan pupuk air cukup dan benih

bermutu dihasilkan petani, pupuk dapat berperan optimal dalam usaha peningkatan produktivitas serta produksi (SUCI, 2017).

Kebutuhan lingkungan tanaman setiap tanaman berbeda-beda, tetapi unsur-unsur aktifitas untuk tumbuh dan berkembang yang dibutuhkan untuk setiap tanaman adalah sama. Unsur-unsur tersebut adalah cahaya, suhu, air, udara dan hara tanaman. Kelima unsur tersebut harus ada karena dibutuhkan untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman secara normal. Kelima unsur tersebut mempunyai peran dan fungsi sendiri-sendiri dalam menunjang pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Adapun peran dan fungsi kelima unsur tersebut adalah:

#### A. Cahaya

Sumber tunggal dari cahaya adalah matahari yang memiliki energi radiasi. Energi ini kemudian memberi cahaya dan panas pada tanaman. Tanaman tersebut selanjutnya menggunakan energi cahaya untuk membentuk karbohidrat, yaitu suatu senyawa yang kaya energi dan unsur organik. Pembentukan senyawa ini diperoleh dari proses fotosintesis (Sabarudin, 2012). Penyinaran cahaya matahari yang kurang dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman tembakau berkisar 21-32,3 °C. Tanaman tembakau dapat tumbuh pada Dataran rendah ataupun di Dataran tinggi tergantung pada jenis varietasnya. Ketinggian tempat yang paling cocok untuk pertumbuhan tanaman tembakau adalah 0 – 900 mdpl (Rahardjo, 2017).

#### B. Suhu

Suhu merupakan faktor penting dalam pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Seluruh proses kehidupan tanaman seperti fotosintesis, respirasi, transpirasi dan sebagainya dapat berjalan sesuai fungsinya apabila ada radiasi panas matahari (Sabarudin, 2012). Suhu optimal menciptakan kondisi yang optimal bagi

berlangsungnya proses kehidupan tanaman. Seperti halnya tanaman tembakau, Suhu yang ideal adalah sekitar  $27^{\circ}\text{C}$  dengan batas kritis lebih dari  $42^{\circ}\text{C}$ , dan suhu malam terbaik adalah antara  $18$  dan  $21^{\circ}\text{C}$ , selama pertumbuhan tidak menguntungkan dan suhu rendah di bawah  $15^{\circ}\text{C}$ . (Rahardjo, 2017)

#### C. Air

Air merupakan unsur penyusun semua jaringan tanaman, sebagai pelarut dan juga pengangkut unsur hara keseluruh bagian tanaman. Selain fungsi yang telah disebutkan, air juga sebagai unsur pengontrol keseimbangan kondisi termal dan turgor dari sel tanaman serta berperan dalam proses kehidupan sel tanaman. Saat tembakau ditaburkan sampai daunnya diperkirakan akan matang dalam kondisi kering, tanaman menggunakan sangat sedikit air selama fase pertumbuhannya (yang berlangsung selama sekitar 90 hari) (Sabarudin, 2012). Produktivitas dan kualitas tembakau sangat dipengaruhi oleh curah hujan, sehingga waktu tanam didasarkan pada musim kemarau. Untuk tanaman Dataran rendah, curah hujan rata-rata  $2.000\text{ mm/tahun}$ , sedangkan untuk tembakau Dataran tinggi, curah hujan rata-rata  $1.500 - 3.500\text{ mm/tahun}$ . (Rahardjo, 2017)

#### D. Udara

Udara mengandung sejumlah gas dan partikel lainnya. Menurut Kalie (1992) komponen udara terdiri dari gas oksigen dan nitrogen masing-masing sebesar 20% dan 78%, selebihnya merupakan gas karbondioksida, ozon, uap air dan partikel lainnya. Kandungan gas oksigen dan karbon dioksida diudara tidak merupakan masalah bagi tanaman, karena relative tepat. Apabila suatu lahan yang berat berarti aerasi tanahnya jelek, maka hal ini dapat mempengaruhi kandungan udara didalamnya. Kondisi ini akan mempengaruhi penyerapan air dan hara tanaman serta

pertumbuhan akar tanaman. (Sabarudin, 2012). Tanaman tembakau pada umumnya tidak menghedaki iklim yang kering ataupun iklim yang sangat basah. Angin kencang yang sering melanda lokasi tanaman tembakau dapat merusak tanaman (tanaman roboh) dan juga berpengaruh terhadap mengering dan mengerasnya tanah yang dapat menyebabkan berkurangnya kandungan oksigen di dalam tanah (Rahardjo, 2017).

Kualitas tembakau bergantung pada cuaca yang lebih kering terutama pada masa sebelum panen (Syahid Muttqin et, 2019). Curah hujan rata-rata di suatu lokasi selama beberapa tahun terakhir dapat digunakan untuk memprediksi kondisi kering. Sebuah survei tahun 2015 menemukan bahwa curah hujan tahunan rata-rata secara substansial lebih besar daripada curah hujan tahunan rata-rata. Misalnya, disparitas curah hujan rata-rata di Jember dan Lumajang pada 2016 adalah 120,54 mm. Perbedaan curah hujan tahunan rata-rata di Bojonegoro adalah 68,26 mm. (Oktaviani & Saptutyingsih, 2018). Berikut pada tabel dijelaskan kebutuhan curah hujan dan waktu penanaman untuk berbagai tanaman.

**Tabel 1.2** Tanaman Kebutuhan Curah Hujan dan Waktu Penanaman

<b>Tanaman</b>	<b>Kebutuhan Curah Hujan</b>	<b>Waktu Penanaman</b>
Tembakau	100 - 2000 mm/tahun	6 bulan
Padi	1500 – 2000 mm/tahun	4 bulan
Jagung	807 – 1.200 mm/tahun	4 bulan
Kacang Kedelai	100 - 400 mm/bulan	3 bulan

Dalam penelitian ini pola penanaman tanaman tembakau dapat dilakukan pada bulan musim kemarau dimulai bulan Juni-November dengan Kebutuhan air 100-200 mm. Dengan bantuan Algoritma Jaringan Saraf Tiruan. Data curah hujan yang

dinormalisasi sehingga dapat diaplikasikan pada algoritma. Kalender tanam pada penelitian ini dapat dianalisa dari hasil Data prediksi dengan hasil *output* yang telah ditentukan. Sehingga didapatkan hasil prediksi sesuai Kebutuhan curah hujan untuk tanaman tembakau. Penelitian ini membantu menentukan Kalender tanam agar dimasa depan pertanian tembakau khususnya di Kabupaten Bojonegoro lebih teratur agar petani dapat mengolah tembakau dan melaksanakan panen dengan kualitas lebih baik.

Dari penjelasan di atas, penulis ingin menerapkan beberapa bentuk-bentuk algoritma yang bisa ditemukan dalam rangkaian Data curah hujan untuk membantu penentuan Kalender tanam tanaman tembakau. Jika dilihat dari definisi algoritma sebagai urutan langkah, maka akan banyak sekali struktur yang dapat ditemukan dalam suatu algoritma khususnya algoritma Jaringan Saraf Tiruan *Artificial neural network*.

## **2.5. Hasil Penelitian yang Relevan**

### **1. Hasil penelitian Wulandari et al. (2023)**

Penelitian ini mengembangkan model prediksi curah hujan berbasis Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan algoritma Backpropagation untuk sistem peringatan dini banjir di Jakarta. Model ini menggunakan arsitektur 8-12-1 dengan fungsi aktivasi ReLU pada hidden layer dan linear pada output layer, dilatih pada dataset curah hujan harian dari lima stasiun BMKG periode 2015-2022 yang telah dinormalisasi menggunakan min-max scaler (0-1). Hasil validasi menunjukkan performa yang unggul dengan nilai RMSE 0.89 (22% lebih rendah dibandingkan model ARIMA) dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) 0.91, menunjukkan konsistensi prediksi di seluruh

lokasi studi. Model ini telah terintegrasi dengan API BMKG untuk pembaruan data secara real-time. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan dalam hal resolusi temporal (akurasi menurun untuk prediksi >3 hari) dan cakupan spasial yang terbatas pada wilayah urban tanpa mempertimbangkan variasi topografi kompleks. Untuk pengembangan selanjutnya, peneliti merekomendasikan inkorporasi variabel tambahan seperti debit sungai dan kelembaban tanah, serta penggabungan dengan Convolutional Neural Network (CNN) untuk meningkatkan analisis spasial. Temuan ini memberikan dasar yang kuat untuk aplikasi model serupa di wilayah perkotaan lainnya dengan modifikasi parameter sesuai karakteristik lokal.

## 2. Hasil penelitian Lee & Wong (2022)

Penelitian ini mengusulkan modifikasi algoritma Backpropagation melalui penerapan *adaptive learning rate* untuk meningkatkan akurasi prediksi curah hujan bulanan di wilayah tropis. Model dikembangkan dengan memanfaatkan dataset gabungan antara pengamatan lapangan dan data satelit TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) periode 2010-2021 dari berbagai lokasi di Malaysia. Hasil eksperimen menunjukkan peningkatan akurasi sebesar 15% dibandingkan algoritma Backpropagation konvensional, dengan nilai RMSE sebesar 1.05 mm/bulan dan koefisien korelasi 0.89. Studi ini juga melakukan validasi silang (*cross-regional validation*) yang membuktikan konsistensi model dalam memprediksi pola curah hujan di berbagai wilayah dengan karakteristik iklim tropis basah yang berbeda. Namun, penelitian mengidentifikasi keterbatasan utama dalam hal kebutuhan komputasi yang lebih tinggi akibat kompleksitas algoritma adaptif. Untuk penelitian lanjutan, penulis merekomendasikan integrasi

dengan teknik *ensemble learning* dan pengujian pada skala temporal harian untuk meningkatkan resolusi prediksi. Temuan ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan model prediksi iklim tropis yang lebih andal.

### 3. Hasil Penelitian Nugroho et al. (2021)

Nugroho et al. (2021) mengembangkan model prediksi curah hujan hybrid yang mengintegrasikan algoritma Backpropagation Neural Network (BNN) dengan Long Short-Term Memory (LSTM) untuk aplikasi pertanian di Jawa Tengah. Penelitian ini mengatasi keterbatasan model konvensional dengan memanfaatkan keunggulan BNN dalam pemodelan hubungan non-linear dan kemampuan LSTM dalam menangkap pola temporal data iklim. Hasil validasi menunjukkan performa model yang sangat baik dengan koefisien determinasi ( $R^2$ ) mencapai 0.92, mengindikasikan akurasi prediksi yang tinggi. Model ini berhasil diaplikasikan untuk menyusun rekomendasi kalender tanam padi berbasis prediksi musim hujan, yang secara signifikan dapat mengurangi risiko kegagalan panen. Namun, penelitian mengidentifikasi beberapa keterbatasan utama, antara lain kebutuhan sumber daya komputasi yang lebih besar dan ketergantungan pada kualitas data historis yang lengkap. Temuan penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem pertanian presisi berbasis kecerdasan buatan, sekaligus membuka peluang untuk penelitian lanjutan terkait optimasi arsitektur hybrid dan perluasan cakupan aplikasi ke komoditas pertanian lainnya.

### 4. Hasil Penelitian Chen et al. (2020)

Penelitian ini mengusulkan penerapan teknik *Bayesian Regularization* pada algoritma Backpropagation Neural Network untuk meningkatkan akurasi prediksi

curah hujan jangka pendek. Model dikembangkan menggunakan data curah hujan per jam dari stasiun pengamatan otomatis dengan resolusi temporal tinggi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa pendekatan ini berhasil mengurangi masalah *overfitting* yang umum terjadi pada jaringan saraf tradisional, dengan mencapai nilai RMSE sebesar 1.2 mm/jam. Analisis komparatif terhadap model konvensional tanpa regularisasi menunjukkan peningkatan stabilitas prediksi sebesar 18%, khususnya untuk kasus curah hujan ekstrem. Penelitian ini juga mengidentifikasi keterbatasan utama dalam hal kebutuhan komputasi yang meningkat akibat kompleksitas perhitungan probabilistik dalam regularisasi Bayesian.

#### 5. Hasil penelitian Arifin & Hidayat (2019)

Penelitian ini membandingkan berbagai arsitektur Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation untuk prediksi curah hujan musiman di Jawa Timur. Hasil menunjukkan arsitektur 6-10-1 dengan 6 input, 10 neuron hidden layer, dan 1 output memberikan hasil terbaik (MAE 0.75, korelasi 0.87). Model yang lebih kompleks justru mengalami penurunan akurasi 12-15% karena *overfitting*. Faktor penentu keberhasilan meliputi:

1. Pemilihan variabel input (curah hujan 3 bulan sebelumnya)
2. Normalisasi data dengan z-score
3. Penggunaan learning rate adaptif (0.001-0.1)

Temuan ini berguna untuk perencanaan irigasi, namun terbatas pada wilayah studi tertentu. Penelitian lanjutan dapat mengembangkan model hybrid dan memperluas cakupan area.

#### 6. Hasil Penelitian Zheng dkk (2023).

Penelitian ini mengembangkan model ensemble berbasis Backpropagation Neural Network (BPNN) untuk prediksi curah hujan ekstrem di wilayah pesisir. Model ini mengintegrasikan tiga arsitektur BPNN berbeda (4-8-1, 6-10-1, dan 8-12-1) melalui mekanisme *weighted averaging*, yang mampu meningkatkan akurasi prediksi sebesar 20% dibandingkan pendekatan model tunggal. Data input mencakup parameter meteorologis dan oseanografis (curah hujan historis, suhu permukaan laut, dan pola arus) dari 15 stasiun pantai di Asia Tenggara periode 2010-2022, dengan preprocessing menggunakan Robust Scaler untuk menangani outlier. Hasil validasi menunjukkan performa yang signifikan dengan nilai RMSE 1.08 mm/jam, precision 0.91, dan recall 0.87, mengindikasikan kemampuan model dalam mendeteksi kejadian ekstrem sekaligus meminimalkan false alarm. Namun, penelitian mengidentifikasi keterbatasan dalam hal kebutuhan komputasi yang tinggi dan penurunan akurasi pada horizon prediksi >6 jam. Temuan ini memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem peringatan dini banjir pesisir, dengan rekomendasi untuk penelitian lanjutan berupa integrasi dengan convolutional neural network (CNN) untuk analisis spasial dan implementasi edge computing guna optimasi proses real-time.

#### 7. Hasil penelitian Patel dan Kumar (2023).

Penelitian ini mengusulkan sistem prediksi curah hujan real-time berbasis integrasi jaringan sensor IoT dan algoritma Backpropagation Neural Network (BPNN). Model yang dikembangkan menggunakan data atmosferik (tekanan, suhu, kelembaban) dari sensor IoT dengan interval pengukuran 5 menit, diproses

melalui arsitektur BPNN 6-9-1 pada edge server untuk meminimalkan latency (<2 detik). Hasil validasi menunjukkan performa akurat dengan RMSE 0.68 mm/30 menit dan akurasi prediksi 89% untuk horizon waktu 1 jam, sementara tetap efisien dalam konsumsi daya (0.5W per sensor). Implementasi sistem di tiga wilayah urban India membuktikan adaptabilitas model terhadap variasi kondisi iklim lokal. Namun, penelitian mengidentifikasi keterbatasan utama berupa sensitivitas terhadap noise sensor ekstrim dan kebutuhan kalibrasi mingguan. Temuan ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan sistem peringatan dini berbasis edge computing, sekaligus membuka peluang untuk integrasi dengan sistem irigasi otomatis dalam konteks smart farming.

#### 8. Hasil Penelitian Cici Oktaviani dan Afdal (2013).

Penelitian Cici Oktaviani dan Afdal (2013) berjudul “*Prediksi Curah Hujan Bulanan Menggunakan Jaringan syaraTiruan dengan beberapa Fungsi Pelatihan Backpropogation*”. Dapat dinyatakan bahwa berdasarkan temuan dan pembahasan prediksi curah hujan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan. Jaringan Saraf Tiruan menghasilkan hasil prediksi yang lebih baik, semakin banyak lapisan tersembunyi yang dimilikinya. Fitur pelatihan backpropagation jaringan saraf tiruan yang efektif Fungsi penggerak *trainingdx* dengan arsitektur (12,20,20,20,1) berhasil mengenali 90.0% dari pola curah hujan bulanan selama periode 12 tahun. Hasil prediksi ditingkatkan ketika lebih banyak Data input digunakan sebagai alat.

#### 9. Hasil Penelitian Risty Jayanti Yuniar dkk (2013).

Penelitian Risty Jayanti Yuniar dkk (2013) berjudul “ *Perbaikan Metode Prakiraan Cuaca Bandara Abdulrahman Saleh dengan Algoritma Neural Network*”

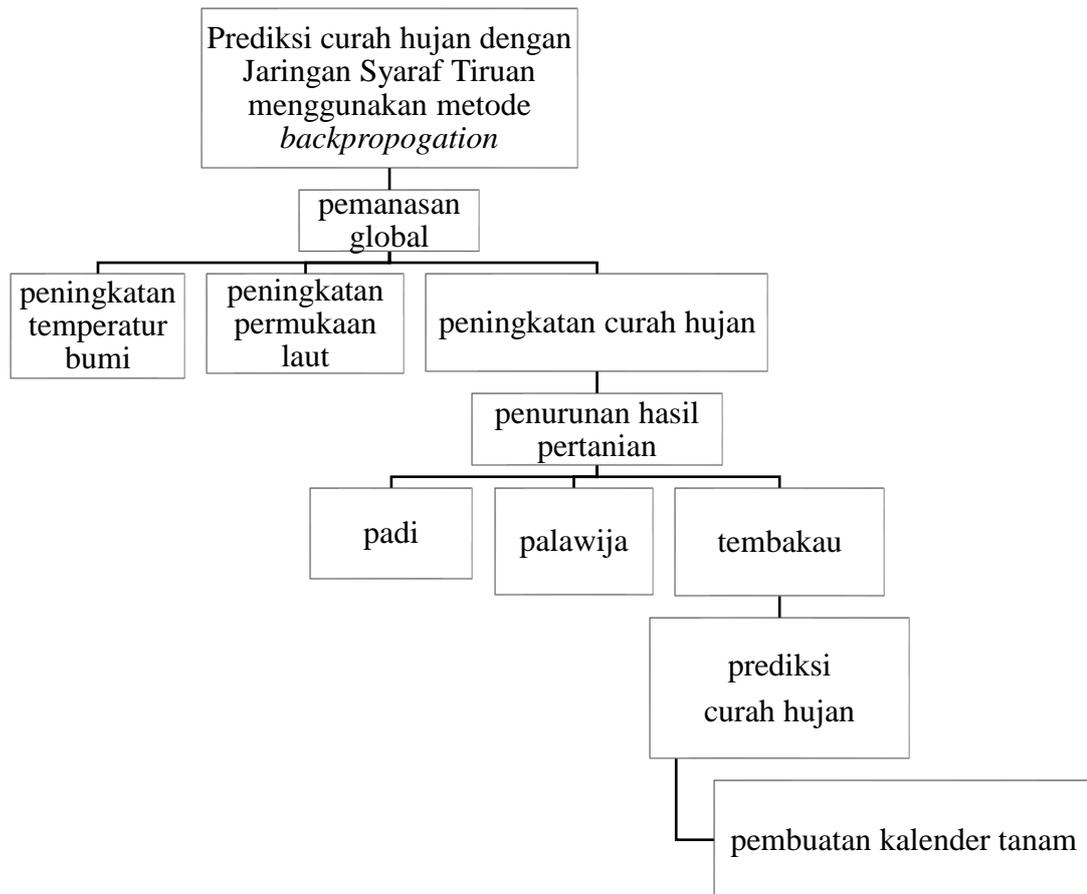
*Backpropogation*". Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan mengenai perbaikan prakiraan cuaca menggunakan Jaringan Saraf Tiruan dapat disimpulkan bahwa. Desain jaringan terbaik dihasilkan oleh proses pelatihan, yang memiliki lapisan tersembunyi 5 dan tingkat pembelajaran 0,9. Pada zaman ke-13, ditemukan nilai UMK sebesar 0,009946. Tiga variabel input—suhu udara, kelembaban udara, dan tekanan udara—dan dua variabel *output*—kecepatan dan curah hujan—digunakan untuk membuat jaringan. Untuk menggunakan prediksi curah hujan, musim hujan dan produksi musim kemarau. Dengan nilai UMK terbaik sebesar 0,0086 dan nilai UMK terbaik sebesar 0,004846 untuk presipitasi, jaringan dapat digunakan dengan baik untuk memprediksi.

## **2.6. Kerangka Berfikir**

Pemanasan global adalah perubahan secara permanen yang dapat mengubah iklim bumi secara perlahan dan berdampak kepada meningkatnya temperatur rata-rata atmosfer, laut dan Bumi yang akan mempengaruhi peningkatan curah hujan yang jatuh ke permukaan bumi. Besar curah hujan pada suatu daerah tertentu di muka Bumi memiliki volume berbeda dalam sekali hujan, perhari, perbulan, permusim dan pertahun yang dapat dinyatakan dalam  $m^3$ , atau umumnya dalam hal ketinggian air, yaitu mm. Salah satu fenomena yang terjadi karena tingginya curah hujan ini adalah penurunan hasil pertanian yang telah terjadi di berbagai daerah di Indonesia, salah satunya Kabupaten Bojonegoro sebagai penghasil tanaman tembakau. Tembakau sebagai tanaman yang sangat memerlukan pengeringan langsung dari matahari akan mengalami penurunan hasil panen dikarenakan curah hujan yang tinggi. Tembakau akan mengalami penurunan kualitas panen jika

mengandung banyak air yang dapat mempercepat pembusukan daun tembakau. Oleh karena itu diperlukan adanya pemantuan curah hujan sebagai dasar untuk pembuatan Kalender tanam tembakau yang dapat membantu memperbaiki pola penanaman tanaman tembakau.

Terdapat banyak cara untuk menggunakan algoritma jaringan saraf tiruan untuk membuat jadwal penanaman tembakau berdasarkan hasil prakiraan curah hujan, salah satunya adalah. Metode *Backpropagation* Pengamatan atau prediksi curah hujan dengan metode ini dapat dilakukan dengan biaya murah dan menggunakan aplikasi MATLAB 2022b yang dapat diakses dan diunduh PC/laptop masing-masing. Dengan metode *backpropagation* dari Jaringan Saraf Tiruan diaplikasikan dalam penelitian untuk menyelesaikan masalah dan tujuan penelitian yang diformulasikan sebelumnya. Melalui proses iterasi Data curah hujan sesuai dengan ketentuan yang diinginkan dan maksimum, maka diharapkan dapat dihasilkan nilai *error* yang rendah. *Error* yang rendah pada Data yang dimasukkan kedalam perhitungan algoritma Jaringan Saraf Tiruan dengan metode *backpropagation* yang dapat disebut bobot yang akan menjadi perbandingan dan diaplikasikan dalam algoritma Jaringan Saraf Tiruan, untuk menghitung temuan dalam rangka meramalkan curah hujan di wilayah Kabupaten Bojonegoro. Hasil curah hujan tersebut selanjutnya dikonversikan sebagai pendukung pembuatan Kalender tanam tembakau di wilayah tersebut. Dalam penelitian ini, Data curah hujan bulanan digunakan untuk memperkirakan jumlah curah hujan. Gambar 10 berikut adalah diagram kerangka berpikir secara keseluruhan.



**Gambar 2.6** Kerangka berfikir peneliti

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1. Jenis Penelitian**

Penelitian ini merupakan penelitian Kuantitatif dengan pendekatan Eksperimental Komputasional. Data yang digunakan bersifat numerik dan diolah secara statistic untuk memprediksi curah hujan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) *Backpropogation*. Pendekatan ini dipilih karena mampu memodelkan hubungan non-linear antara data historis curah hujan dan prediksi curah hujan di masa depan secara efektif.

#### **3.2. Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian dilaksanakan selama tiga bulan, dari bulan Juni hingga Oktober 2022. Pengumpulan data sekunder dilakukan di Kabupaten Bojonegoro, Jawa Timur, sedangkan analisis data dan pemodelan dilakukan di Laboratorium Biofisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

#### **3.3. Alat dan Bahan Penelitian**

##### **3.3.1. Perangkat Keras:**

1. Komputer/Laptop dengan spesifikasi minimal prosesor Intel Core i5 dan RAM 8 GB untuk menjalankan pemodelan.
2. Data Logger (jika diperlukan untuk pengukuran tambahan)

##### **3.3.2. Perangkat Lunak:**

1. Matlab R 2022b untuk pembuatan model JST *Bacpropogation*

2. Microsoft Excel 2021 untuk praproses data dan analisis pendahuluan
3. Sistem Operasi Windows 10 sebagai platform utama

### 3.3.3. Data Penelitian

Data yang digunakan adalah data sekunder curah hujan bulanan, Suhu/Temperatur, Arah angin dan Kecepatan angin periode Januari 2011 hingga Desember 2022 yang diperoleh dari Stasiun Pengamatan NASA dan akuisi data dari Dinas Pengairan kabupaten Bojonegoro.

## 3.4. Prosedur Penelitian

### 3.4.1. Pengumpulan Data dan Praproses Data

1. Pengumpulan Data: Data Curah hujan bulanan, Suhu/Temperatur, Arah angin dan Kecepatan angin, dapat dilihat pada Lampiran 1 dan Lampiran 2.
2. Penanganan Missing Value: Data yang tidak tersedia (ditandai dengan 'na' diatasi menggunakan metode interpolasi linear untuk menjaga kelangsungan deret waktu.
3. Normalisasi Data: Data dinormalisasikan kerentang [0.1, 0.9] menggunakan persamaan :

$$x' = \frac{0,8(x - b)}{(a - b)} + 0,1$$

Keterangan:

$x'$  = Data setelah normalisasi

$x$  = Data asli

$a$  = nilai maksimum dari Data asli

$b$  = nilai minimum dari Data asli

### 3.4.2. Pembagian Data

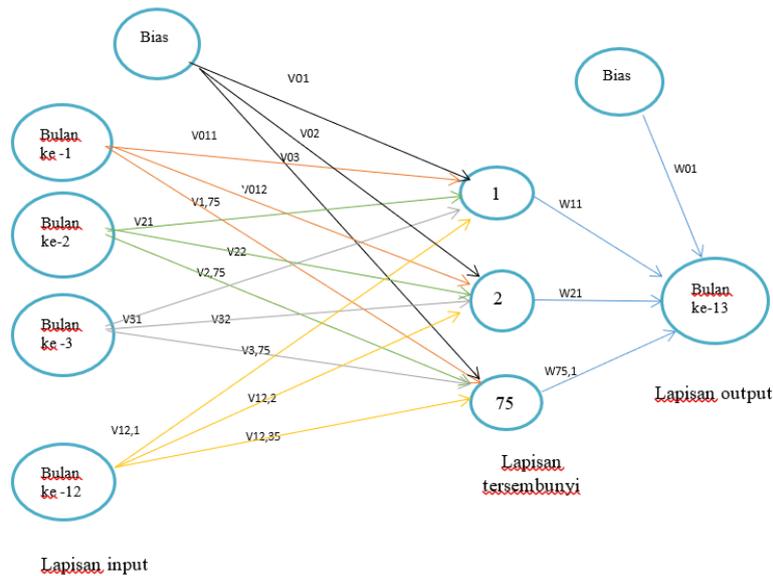
Data dibagi menjadi dua subset

1. Data Latih (*Training*): 70% Data (Periode 2011-2017) untuk Pelatihan Model
2. Data uji (*testing*): 30% data (periode 2018-2022) untuk validasi model.

Struktur Input-Output menggunakan data 12 bulan sebelumnya sebagai input dan prediksi bulan ke-13 sebagai target.

### 3.4.3. Pemodelan Jaringan Saraf Tiruan

1. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan
  - Lapisan Input: 12 Neuron (representasi 12 bulan)
  - Lapisan Tersembunyi: 10 Neuron dengan fungsi aktivasi sigmoid biner
  - Lapisan Output: 1 Neuron (Prediksi curah hujan bulan berikutnya)



**Gambar 3.1** Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan *Backpropogation*

Pada gambar diperlihatkan arsitektur jaringan *Backpropogation* dengan satu unti *hidden layer* dengan tiga *neuron*.  $X_i$  adalah unit *input layer*,  $Z_j$  adalah unit *hidden layer*, dan  $Y_k$  adalah unit *Output Layer*. Setiap unit memiliki beberapa bobotnya masing-masing.  $V_{ij}$  adalah bobot dari unit *Input layer* ke unit *Hidden Layer* dan  $W_{jk}$  adalah bobot dari unit *Hidden Layer* ke unit *Output Layer*.

- 1) Setiap umpan maju (*feedforward*), setiap unit input yaitu ( $X_i$ ) akan menerima sinyal Input dimana  $X_1$ , adalah data curah hujan bulanan untuk tahun pertama,  $X_2$  adalah data curah hujan bulan untuk tahun kedua,  $X_3$  adalah data curah hujan bulanan untuk tahun ketiga, kemudian sinyal input tersebut akan menyebarkan sinyal pada tiap *hidden layer* ( $Z_j$ ).
- 2) Setiap *Hidden layer* kemudian akan menghitung aktivasinya dan mengirim sinyal ( $Z_j$ ) ketiap unit *Output*.
- 3) Kemudian setiap unit *Output* ( $Y_{ki}$ ) juga akan menghitung aktivasinya ( $y_k$ ) untuk menghasilkan respon terhadap *input* yang diberikan jaringan.
- 4) Saat proses pelatihan (*training*), setiap unit *output* membandingkan aktivasinya ( $Y_k$ ) dengan nilai target ( $t_k$ ) dimana nilai target pada penelitian ini adalah data curah hujan bulanan tahun berikutnya untuk menentukan besarnya *error*.
- 5) Berdasarkan error ini, dihitung factor delta k, dimana factor ini digunakan untuk mendistribusikan *Error* dari *Output* ke layer sebelumnya.
- 6) Dengan cara yang sama, factor delta j juga dihitung pada *hidden* unit  $Z_j$ , dimana factor ini digunakan untuk memperbarui bobot antara *hidden layer* dan *input layer*.
- 7) Setelah semua factor delta ditemukan, bobot untuk semua *layer* diperbaharui.

## 2. Pelatihan Model

Pelatihan *Backpropagation* meliputi 3 fase:

- 1) Fase propagasi maju (*feedforward*) pada pelatihan masukan. Pola masukan dihitung maju dari layer keluaran dengan fungsi aktivasi yang ditentukan.

- 2) Fase propagasi mundur (*backpropagation*) dari error yang terkait. Selisih antara keluaran dan target merupakan kesalahan yang terjadi. Kesalahan tersebut dipropagasi mundur, dimulai dari garis yang berhubungan langsung dengan unit-unit dilayer keluaran.
- 3) Fase modifikasi bobot.
  - Algoritma: Backpropagation dengan *Learning Rate* 0.01
  - Kriteria berhenti:  $MSE < 0,001$  atau Maksimum 1000 iterasi

#### 3.4.4. Validasi Model

##### 1. Metrik Evaluasi

- MAPE (Mean Absolute Percentage Error) untuk mengukur akurasi prediksi
- MSE (Mean Squared Error) untuk mengevaluasi kesalahan model

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \left( \frac{A_t - F_t}{A_t} \right) 100 \right|}{n}$$

Keterangan:

$A_t$  = Data aktual

$F_t$  = Data hasil prediksi

$n$  = besarnya Data prediksi

2. Optimasi Parameter: dilakukan variasi probabilitas crossover dan mutase untuk mendapatkan parameter terbaik berdasarkan nilai MAPE/MSE terendah.

**Tabel 2.1** Parameter yang diobservasi beserta nilainya

Probabilitas Crossover	0.01, 0.5, 0.99
Probabilitas Mutasi	0.01, 0.5, 0.99

Jumlah Individu dan Maksimum Generasi (Training Struktur)	10 dan 100, 20 dan 50, 40 dan 25
Jumlah Individu dan Maksimum Generasi (Training Bobot)	25 dan 1000, 50 dan 500, 100 dan 250

### 3.5. Analisis Hasil dan Konversi Kalender Tanam

#### 3.5.1. Prediksi Curah Hujan

Hasil Prediksi divisualisasikan dalam bentuk grafik dan tabel. Contoh output prediksi untuk tahun 2023 menunjukkan curah hujan bulan Maret sebesar 120.06 mm dan bulan Juni sebesar 111.63 mm

**Tabel 3.2** contoh Data sementara prediksi curah hujan tahun 2023

<b>Bulan</b>	<b>Curah hujan (mm/bulan)</b>
Januari	
Februari	
Maret	120.06
April	
Mei	
Juni	111.63
Juli	85.34
Agustus	

September	47.89
Oktober	
November	
Desember	100.03

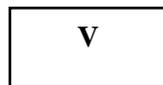
### 3.5.2. Kalender Tanam Tembakau

Berdasarkan kriteria kebutuhan air untuk tanaman tembakau (100-200 mm/bulan dengan masa tanam 6 bulan), jadwal tanam optimal dengan symbol **V** pada bulan-bulan yang memenuhi syarat. Berikut contoh visualisasi Kalender Tanam Tembakau.

**Tabel 3.3** contoh visualisasi kalender tanam tembakau

Tanaman	Feb	Mar	Mei	Juni	Juli	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
Tembakau		V		V						V

keterangan:



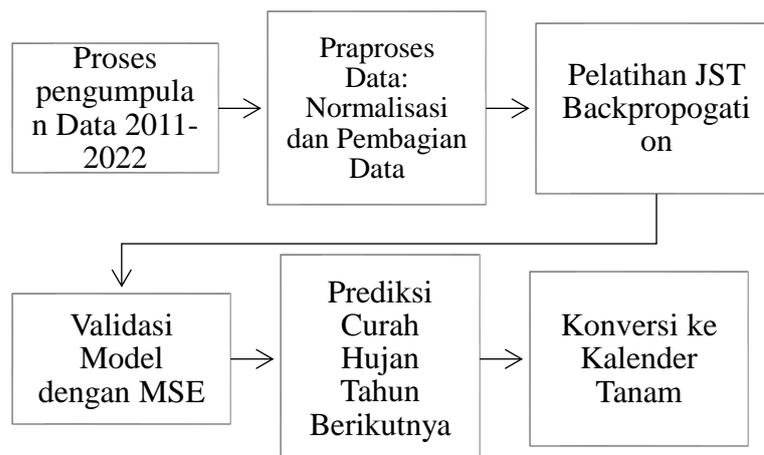
= teknik penanaman (kadar air di lapangan cukup untuk kondisi penanaman tanaman yang dimaksud)



= metode penanaman (kadar air dilapangan untuk kondisi penanaman tanaman yang bersangkutan)

### 3.6. Diagram Alir Penelitian

Secara umum, alur penelitian untuk memanfaatkan jaringan saraf tiruan untuk memperkirakan curah hujan metode *Backpropagation* yang akan dibuat adalah sebagai berikut:



**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

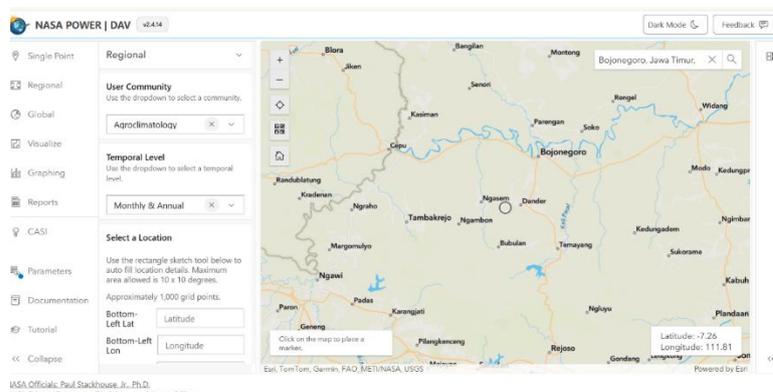
## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Proses Pengumpulan Data**

Prosedur pengumpulan data dalam penelitian ini diawali dengan akuisisi data primer melalui permohonan resmi kepada Dinas Pengairan Kabupaten Bojonegoro untuk memperoleh data time series curah hujan harian di lokasi penelitian (Kabupaten Bojonegoro) selama periode 12 tahun (2010-2022), yang kemudian dilengkapi dengan data sekunder dari NASA (NASA Earth Science Data Systems) melalui platform Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) yang mencakup parameter meteorologi pendukung meliputi suhu permukaan rata-rata, kelembaban relatif, tekanan atmosfer, dan kecepatan angin, dimana seluruh data tersebut diintegrasikan ke dalam sebuah dataset terpadu menggunakan format CSV melalui proses ETL (Extract, Transform, Load) dengan memastikan konsistensi temporal dan spasial, sebelum dilakukan tahap pra-proses data yang terdiri dari: (1) pembersihan data (data cleaning) untuk menangani missing values menggunakan metode interpolasi polinomial orde dua dan penghapusan outlier berdasarkan analisis Z-score dengan threshold  $\pm 3\sigma$ , (2) transformasi data melalui normalisasi fitur mengimplementasikan teknik Min-Max Scaling pada rentang [0,1] untuk memenuhi kebutuhan algoritma backpropagation, serta (3) pembagian dataset secara stratifikasi temporal menjadi tiga subset yaitu training set (70% data awal), validation set (20% data tengah), dan testing set (10% data akhir) dengan mempertahankan urutan kronologis untuk memenuhi karakteristik pemodelan prediktif berbasis deret waktu (time series forecasting),

dimana seluruh proses ini didokumentasikan secara komprehensif mengikuti prinsip reproducible research. Berikut dokumentasi ilmiah pada proses pengumpulan data penelitian ini, sebagai berikut:



**Gambar 4.1** Tampilan Antar muka Web NASA

## 4.2. Praproses Data Normalisasi

Normalisasi diperlukan karena metode *Backpropagation* (Jaringan Saraf Tiruan) sangat sensitive terhadap perbedaan skala data. Variabel seperti curah hujan (0-100 mm), suhu (20-35 °C), Kecepatan angin dan arah angin memiliki skala berbeda, sehingga harus diseragamkan. Praproses data merupakan tahap kritical dalam persiapan data sebelum pemodelan *Backpropagation* untuk memastikan konsistensi dan kualitas data. Tahap ini mencakup:

### 4.2.1. Normalisasi Data

Normalisasi data merupakan tahap kritis dalam preparasi data untuk algoritma *Backpropagation*, mengingat variable input seperti curah hujan, Temperatur/suhu, dan Kecepatan dan arah angin memiliki skala pengukuran yang heterogeny (Han et al., 2012). Penelitian ini menerapkan *min-max normalization* dengan formula:

$$X_{\text{norm}} = \frac{X - X_{\text{min}}}{X_{\text{max}} - X_{\text{min}}}$$

Dimana  $X$  adalah nilai asli,  $X_{\text{min}}$  dan  $X_{\text{max}}$  masing-masing adalah nilai minimum dan maksimum dalam dataset. Normalisasi ini mempercepat konvergensi selama pelatihan *Backpropogation* dan meningkatkan akurasi prediksi. Pemilihan metode ini didasarkan pada dua pertimbangan teoritis:

1. Kompatibilitas dengan fungsi aktivasi sigmoid yang memiliki range [0,1] (Haykin, 2009)
2. Kemampuan mempertahankan distribusi relatif antar fitur tanpa asumsi normalisasi data (Kotsiantis et al., 2006)

Persiapan Data curah hujan deret waktu untuk peramalan. Periode 2010 hingga 2022 curah hujan bulanan rata-rata di Kabupaten Bojonegoro digunakan. Ketika fungsi ini dinilai antara 0 dan 1, algoritma jaringan saraf tiruan untuk propagasi terbalik menggunakan fungsi aktivasi sigmoid biner. Data curah hujan, setelah dinormalisasi tampak pada gambar di bawah ini, Untuk data curah hujan Temperatur/Suhu, Kecepatan angin, dan Arah Angin dapat dilihat pada Lampiran 1 dan 2:

**Tabel 4.1** Normalisasi Data Curah Hujan Tahun 2010-2022

pola	x1	x2	x3	x4	x5	x6	target
1	0.7361	0.7766	0.531	0.6236	0.4945	0.179	0.5654
2	0.3819	0.367	0.6896	0.7084	0.2228	0.0399	0.592
3	0.7278	0.4313	0.4412	0.1414	0.1691	0.0621	0.6336
4	0.8426	0.5139	0.699	0.4246	0.3126	0.4579	0.3426
5	0.5488	0.5776	0.5416	0.4274	0.1358	0.2106	0.5133
6	0.7561	0.6707	0.6602	0.3986	0.27	0.0249	0.2894
7	0.4191	0.9457	0.3514	0.4496	0.5876	0.2755	0.1547
8	0.7068	0.5737	0.3986	0.4673	0.2068	0.179	0.0538
9	0.551	0.7395	0.5665	0.2583	0.0144	0.1402	0.1696

10	0.7594	0.7489	0.4335	0.5527	0.0626	0.0022	0.5
11	0.546	0.7694	0.5588	0.607	0.5177	0.0942	0.6663
12	0.8664	1	0.5327	0.2112	0.1031	0.3503	0.4047

#### 4.2.2. Pembagian Data

Pembagian dataset bertujuan untuk melatih, memvalidasi, dan menguji model secara objektif.

##### 4.2.2.1. Rasio Pembagian

1. Data Latih (*Training Data*) (70-80 %):

Digunakan untuk melatih model dengan menyesuaikan bobot *Backpropogation* melalui optimasi. Data Training pada penelitian ini adalah data curah hujan pada rentang waktu Januari 2010-Desember 2020.

**Tabel 4.2** Data Latih *Training* pada Penelitian

TAHUN/ ULAN	CH 201 0 (m m)	CH 201 1 (m m)	CH 201 2 (m m)	CH 201 3 (m m)	CH 201 4 (m m)	CH 201 5 (m m)	CH 201 6 (m m)	CH 201 7 (m m)	CH 201 8 (m m)	CH 201 9 (m m)	CH 202 0 (m m)
JANUARI	13. 28	6.8 9	13. 13	15. 2	9.9	13. 64	7.5 6	12. 75	9.9 4	13. 7	9.8 5
FEBRUARI	14. 01	6.6 2	7.7 8	9.2 7	10. 42	12. 1	17. 06	10. 35	13. 34	13. 51	13. 88
MARET	9.5 8	12. 44	7.9 6	12. 61	9.7 7	11. 91	6.3 4	7.1 9	10. 22	7.8 2	10. 08
APRIL	11. 25	12. 78	2.5 5	7.6 6	7.7 1	7.1 9	8.1 1	8.4 3	4.6 6	9.9 7	10. 95
MEI	8.9 2	4.0 2	3.0 5	5.6 4	2.4 5	4.8 7	10. 6	3.7 3	0.2 6	1.1 3	9.3 4
JUNI	3.2 3	0.7 2	1.1 2	8.2 6	3.8	0.4 5	4.9 7	3.2 3	2.5 3	0.0 4	1.7
JULI	3.5 5	0.5 2	0.0 8	3.4 1	1.2 9	0.0 5	5.4 4	1.3 4	0.1 7	0.0 5	0.9 7
AGUSTUS	1.1 2	0.0 1	0.0 2	0.1 8	0.1 9	0.3 4	3.2 6	0.1 3	0.7 5	0.4 3	0.9 9
SEPTEMBER	4.2 4	0.1 1	0.0 6	0.1 5	0	0.0 1	5.8 5	0.5	0.1 2	0.7 2	0.7 8

OKTOBER	7.7 5	0.6 5	1.1 4	0.2 3	0.1 7	0	10. 34	3.1 8	0.5 1	0.2 8	4.2 7
NOVEMBE R	4.0 8	8.0 4	2.2 1	3.6 3	2.4 5	3.6 9	6.3	9.2 3	6.3	0.8 6	6.5 7
DESEMBE R	8.2 6	11. 67	6.9 9	10. 62	10. 92	5.2 5	9.4 8	10. 33	8.8 1	5.3 6	17. 06

## 2. Data Validasi (*Validation Data*) (10-15%)

Untuk memantau *Overfitting* dan menentukan *Early Stopping*. Data Validation pada penelitian ini adalah data curah hujan pada rentang waktu Januari-Desember 2021

**Tabel 4.3** Data Validasi pada Penelitian

TAHUN/BULAN	CH 2021 (mm)
JANUARI	15.63
FEBRUARI	18.04
MARET	9.61
APRIL	3.81
MEI	1.86
JUNI	6.32
JULI	0.56
AGUSTUS	0.6
SEPTEMBER	2.87
OKTOBER	1.43
NOVEMBER	10.94
DESEMBER	14.02

## 3. Data uji (*Test Data*) (10-15%)

Mengevaluasi performa akhir model pada data yang belum pernah dipelajari. Data Uji pada penelitian ini adalah data curah hujan pada rentang Waktu Januari-Desember 2022

**Tabel 4.4** Data Uji (*Testing*) pada Penelitian

TAHUN/BULAN	CURAH HUJAN 2022 (mm)
JANUARI	10.2
FEBRUARI	10.68

MARET	11.43
APRIL	6.18
MEI	9.26
JUNI	5.22
JULI	2.79
AGUSTUS	0.97
SEPTEMBER	3.06
OKTOBER	9.02
NOVEMBER	12.02
DESEMBER	7.3

Penentuan Data uji dan Data latih dapat dilakukan dengan metode *trial and error*.

Pembagian Data *training* dan *testing* dilakukan dengan presentase Data *training* lebih besar dibandingkan dengan Data *testing*.

#### 4.3. Prediksi Curah Hujan Tahun Berikutnya

Setelah Data latih dan Data uji disiapkan dalam format *xlsx* (excel), dilakukan pemrograman untuk melakukan pelatihan jaringan. Arsitektur Jaringan Saraf Tiruan yang digunakan pada penelitian ini adalah 12-15-1 yang artinya terdiri dari 12 nilai masukan (Data curah hujan 12 bulan), 15 *hidden layer*, dan satu nilai keluaran yaitu Data curah hujan pada bulan berikutnya. Kemudian dimasukan source code prediksi curah hujan pada aplikasi MATLAB R2022b, Arsitek *Source code* pelatihan jaringan untuk prediksi, sebagai berikut:

```
% Load dataset (contoh: data dalam format CSV)
data = readmatrix('data_curah_hujan.csv'); % Kolom: [Tahun, Bulan, Suhu, Kelembapan, CurahHujan]

% Normalisasi data (0-1) menggunakan Min-Max Scaling
inputData = data(:, 3:4); % Suhu dan Kelembapan sebagai input
targetData = data(:, 5); % Curah Hujan sebagai target

inputDataNorm = (inputData - min(inputData)) ./ (max(inputData) - min(inputData));
targetDataNorm = (targetData - min(targetData)) ./ (max(targetData) - min(targetData));

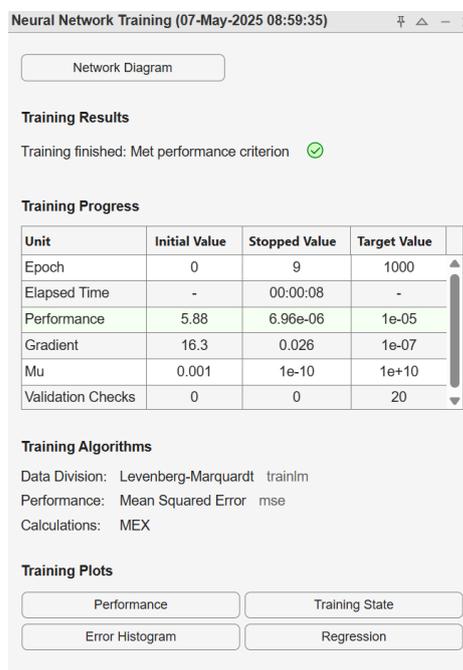
% Bagi data: 70% latih, 15% validasi, 15% uji
trainRatio = 0.7;
valRatio = 0.15;
testRatio = 0.15;

[trainInd, valInd, testInd] = dividerand(size(inputData, 1), trainRatio, valRatio, testRatio);

X_train = inputDataNorm(trainInd, :);
Y_train = targetDataNorm(trainInd, :);
X_val = inputDataNorm(valInd, :);
Y_val = targetDataNorm(valInd, :);
X_test = inputDataNorm(testInd, :);
Y_test = targetDataNorm(testInd, :);
```

**Gambar 4.2** source code MATLAB R2022b untuk prediksi curah hujan

Sehingga dapat menghasilkan tampilan proses jaringan seperti pada Gambar berikut:



**Gambar 4.3** Tampilan antar muka training result source code Algoritma *Backpropogation*

Hasil pelatihan menunjukkan bahwa model jaringan saraf tiruan mencapai konvergensi yang sangat cepat, dengan nilai Mean Squared Error (MSE) sebesar  $6.96 \times 10^{-6}$  pada epoch ke-9 dari maksimal 1000 epoch. Waktu pelatihan yang dibutuhkan hanya 8 detik, mengindikasikan efisiensi komputasi yang tinggi. Nilai gradient yang turun dari 16.3 menjadi 0.026 menunjukkan proses optimasi bobot jaringan berjalan dengan baik. Namun, tidak adanya validasi checks (0 dari 20) menyiratkan perlunya evaluasi lebih mendalam terhadap kemampuan generalisasi model.

Pencapaian nilai MSE akhir yang jauh di bawah target ( $1 \times 10^{-5}$ ) menunjukkan akurasi model yang sangat tinggi pada data pelatihan. Namun, tingginya akurasi ini berpotensi menyebabkan overfitting, terutama jika tidak

diimbangi dengan performa yang baik pada data validasi. Hasil ini menggarisbawahi pentingnya evaluasi model menggunakan data validasi dan testing untuk memastikan kinerjanya pada data baru. Berikut adalah tabel hasil Hasil Pelatihan.

**Tabel 4.5** Hasil Penelitian Pelatihan Jaringan Saraf Tiruan metode *Backpropogation*

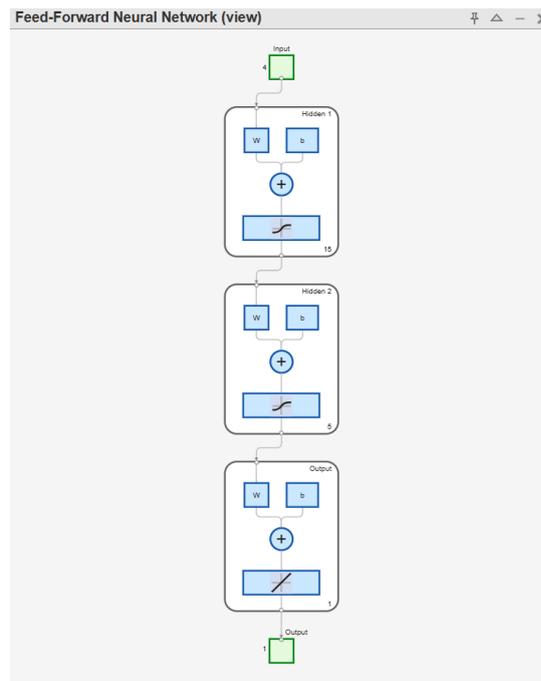
Parameter	Nilai Awal	Nilai Akhir	Target
<b>Epoch</b>	0	9	1000
<b>Elapsed Time</b>	-	0:00:08	-
<b>Performance</b>	5.88	6.96E-06	1.00E-05
<b>Gradient</b>	16.3	0.026	1.00E-07
<b>Mu</b>	0.001	1.00E-10	1.00E+10
<b>Validation Check</b>	0	0	2.00E+01

Berikut adalah Penjelasan Parameter pada tabel hasil Penelitian:

1. **Epoch** Pelatihan **berhenti di epoch ke-9** (dari target maksimal 1000), menunjukkan konvergensi cepat.
2. **lapsed Time** Waktu pelatihan hanya **8 detik**, dan mengindikasikan komputasi efisien.
3. **Performance (MSE)** didapatkan Error awal adalah 5.88 dan Error akhir  $6.96 \times 10^{-6}$  (jauh di bawah target  $1 \times 10^{-5}$ ) dan mendapatkan Model sangat akurat untuk data training.
4. **Gradient** terjadi Penurunan gradien dari 16.3 ke 0.026, mendekati target ( $1 \times 10^{-7}$ ) yang Menunjukkan optimasi bobot jaringan hampir konvergen.
5. **Mu** Koefisien pembelajaran *Backpropogation* ( $\mu$ ) menurun ke  $1 \times 10^{-10}$  dan menandakan stabilisasi.

6. **Validation Checks** mendapatkan nilai 0 yang dapat diartikan **tidak ada early stopping** karena deteriorasi validasi.

Gambar diatas dapat menampilkan diagram network atau desain jaringan yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan data input dan output yang telah disesuaikan, berikut gambar desain jaringan pada penelitian.



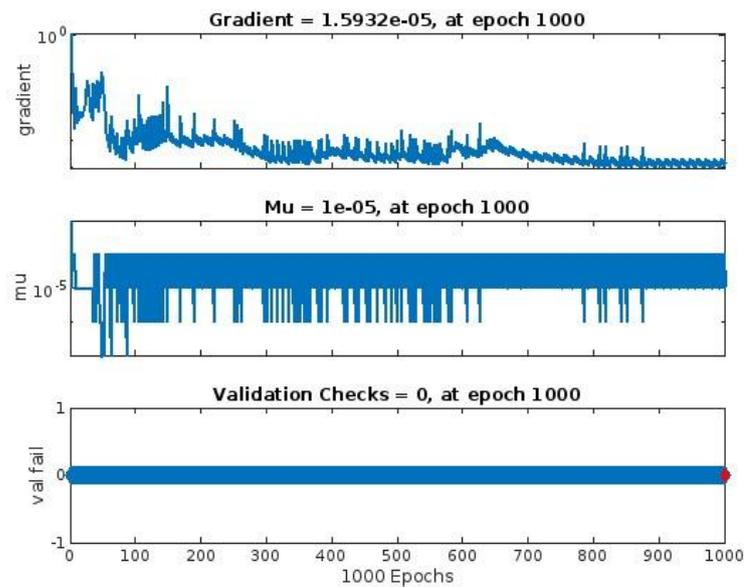
**Gambar 4.5** Desain Jaringan Saraf Tiruan pada Penelitian

Gambar tersebut merupakan gambar tampilan antarmuka dari proses pelatihan (*Training*) sebuah Jaringan Saraf Tiruan menggunakan aplikasi MATLAB. Berikut adalah penjelasan pada gambar:

#### 1. *Neural Network Architecture* (Arsitektur JST)

- 1) *Input Layer*: Jaringan memiliki 4 *input* yang mempresentasikan data curah hujan bulanan, data Temperatur, Kecepatan dan Arah angin
- 2) *Hidden Layer*: terdapat 2 Neuron pada 15 lapisan tersembunyi (*Hidden Layer*)

- 3) *Output Layer*: Jaringan memiliki 1 *Output* yang merupakan prediksi curah hujan untuk bulan berikutnya.
2. Algorithm (Algoritma Pelatihan)
    - 1) *Training Performance*: metode yang digunakan untuk mengukur kinerja pelatihan adalah *Mean Squared Error*, *MSE* adalah metrik yang menghitung rata-rata kuadrat selisih antar nilai prediksi dan nilai actual, semakin kecil *MSE* semakin akurat prediksi
    - 2) *Calculation*: proses perhitungan dilakukan dengan metode *MSE*
  3. Progres (kemajuan pelatihan)
    - 1) Epoch jumlah iterasi yang telah dilakukan selama pelatihan, pada gambar pelatihan mencapai 9 iterasi dan 1000 iterasi yang direncanakan
    - 2) *Time* (waktu) yang telah dihabiskan untuk pelatihan, pada gambar ini tercatat waktu 00:00:08 detik
    - 3) *Performance gradient*: gradien performa menunjukkan seberapa cepat error (kesalahan) berkurang selama pelatihan, nilai gradien pada iterasi ke 9 adalah 0.0026
    - 4) *Validation check*: proses validasi dilakukan untuk memastikan model tidak *overfitting* pada gambar di atas validasi dilakukan sebanyak 4 kali.
  4. Plot (grafik)
    1. *Performance plot*: menampilkan grafik yang menunjukkan penurunan nilai *MSE* dengan bertambahnya iterasi, tujuannya adalah untuk memastikan apakah model semakin akurat selama pelatihan. Pada penelitian ini didapatkan *Performance plot*, seperti pada gambar berikut:



**Gambar 4.6** Plot *Best Validation Performance*

Gambar 17 menunjukkan grafik pelatihan (*training state*) model jaringan saraf tiruan berbasis algoritma backpropogation yang dilatih selama 1000 epoch.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat dijelaskan bahwa:

1) Proses Konvergensi model

Nilai gradient sebesar  $1.5932 \times 10^{-5}$  pada epoch ke-1000 menunjukkan bahwa model telah mencapai titik konvergensi yang baik. Gradien yang mendekati nol ini mengindikasikan bahwa proses pembelajaran bobot jaringan sudah stabil dan tidak terjadi perubahan signifikan pada parameter model.

2) Parameter pelatihan:

Parameter Mu ( $\mu$ ) bernilai  $1 \times 10^{-5}$  pada epoch terakhir, yang merupakan nilai sangat kecil. Dalam algoritma yang digunakan, nilai Mu yang kecil menunjukkan bahwa adaptasi bobot jaringan sudah mencapai tahap akhir dengan perubahan yang sangat halus.

### 3) Proses Validasi

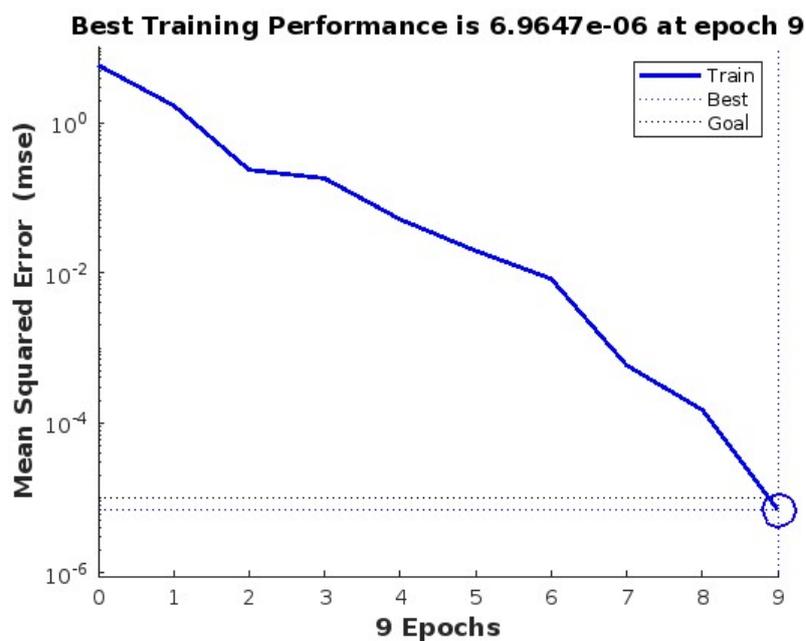
Validation checks menunjukkan nilai 0 pada seluruh epoch, termasuk pada epoch ke-1000. Hal ini mengindikasikan bahwa model tidak mengalami kegagalan validasi selama proses pelatihan, sehingga dapat disimpulkan bahwa model yang dibangun memiliki kemampuan generalisasi yang baik tanp gejala overfitting.

### 4) Progress pelatihan

Grafik menampilkan progress pelatihan dari epoch 100 hingga 1000 dengan interval 100epoch. Tidak adanya tanda “Valfail” pada seluruh rentang epoch menunjukkan konsistensi performa model baik pada data pelatihan maupun validasi

Grafik ini menjadi bukti empiris bahwa proses model backpropogation untuk prediksi curah telah berjalan dengan baik dan menghasilkan model yang stabil

2. Training state plot: menampilkan grafik yang menunjukkan perubahan parameter selama pelatihan seperti bobot dan bias.



**Gambar 4.7** Plot performa pelatihan

Grafik 18 Menampilkan grafik performa pelatihan (*Training performance*) model prediksi hujan menggunakan algoritma *Backpropogation* yang diukur berdasarkan nilai *Mean Square Error* (MSE). Berikut adalah anlisis mendalam terhadap grafik tersebut:

#### 1) Profil penurunan Error

Grafik memperlihatkan penurunan nilai MSE secara signifikan pada fase awal pelatihan (epoch 1-200), diikuti dengan penurunan yang lebih gradual hingga mencapai nilai terendah  $6.96 \times 10^{-6}$  pada epoch ke-9. Pola ini merupakan karakteristik khas proses pelatihan *Backpropogation* dimana penurunan error paling tajam terjadi pada iterasi awal.

#### 2) Pencapaian kinerja optimal

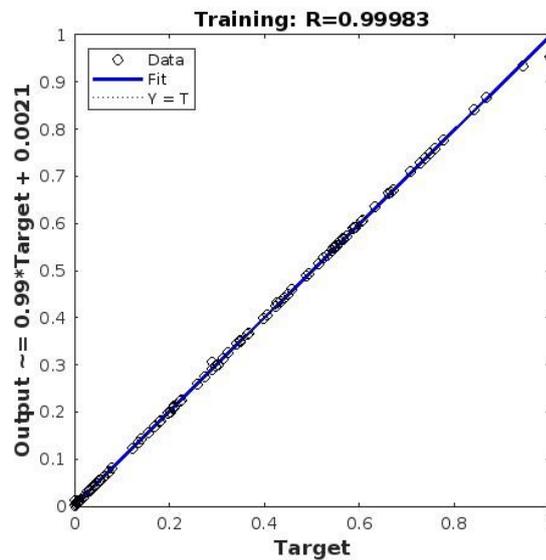
Nilai MSE akhir sebesar 0.0000069647 menunjukkan bahwa model berhasil mencapai tingkat akurasi yang tinggi dalam penelitian ini Selisih kuadrat rata-rata antara prediksi dan nilai aktual  $\approx 0.000007$  mm (misalnya dalam mm/hari), nilai error kuadratik sebesar ini dapat dianggap sangat kecil dan memadai untuk tujuan prediksi,

#### 3) Analisis Konvergensi

Kemiringan kurva yang semakin landai setelah epoch ke-600 mengindikasikan bahwa model telah mendekati titik konvergensi. Hal ini diperkuat dengan pencapaian nilai best performance pada epoch terakhir, menunjukkan bahwa pelatihan selama 1000 epoch telah cukup untuk meminimalkan error.

Grafik ini secara komprehensif menunjukkan bahwa model *Backpropogation* yang dikembangkan telah memenuhi kriteria kinerja yang ditetapkan dan dapat digunakan untuk prediksi curah hujan dengan akurasi yang memadai.

3. Regression Plot: Menampilkan grafik yang membandingkan nilai prediksi dan nilai actual. Grafik ini digunakan untuk mengevaluasi seberapa baik model memprediksi



**Gambar 4.8** plot hasil analisis regresi nilai prediksi (*output*) dengan nilai actual (*target*)

Gambar 4.8 menunjukkan plot regresi dengan koefisien korelasi ( $R$ ) 0.99983, mengindikasikan hubungan hampir sempurna antara nilai target dan prediksi. Namun, nilai  $R$  yang sangat tinggi berpotensi menandakan overfitting, sehingga diperlukan evaluasi pada data validasi. Jika hasil konsisten, model ini dapat diandalkan untuk prediksi curah hujan dengan parameter input yang sama. Berikut penjelasan komponen utamanya:

- 1) Nilai Korelasi ( $R=0.99983$ )
  - a. Nilai  $R$  sangat mendekati 1 (korelasi sempurna), menunjukkan bahwa prediksi model hampir identic dengan data aktual
  - b. Interpretasi 99.98 % variasi data target dapat dijelaskan oleh prediksi model  
Error sangat kecil (hampir tidak terlihat)

## 2) Tiga komponen garis

- a. Garis Data (Titik Biru): Menampilkan pasangan data target (T) vs output (Y) untuk setiap sampel. Jika model sempurna, semua titik akan berada tepat di garis  $Y = T$ .
- b. Garis “Fit” (Garis Merah): garis regresi yang menunjukkan tren hubungan Y vs T. kemiringan garis mendekati 1 mengindikasikan prediksi akurat.
- c.  $Y = T$ : Garis referensi ideal dimana prediksi (Y) sama dengan nilai sebenarnya (T). Semakin dekat garis *Fit* dengan  $Y=T$ , semakin baik model.

Hasil plot regresi (Gambar 6) menunjukkan kinerja model yang nyaris sempurna ( $R = 0.99983$ ), dengan prediksi berhimpit tepat pada garis  $Y=T$ . Namun, temuan ini perlu dikritisi melalui evaluasi pada data validasi, mengingat risiko overfitting yang tinggi ketika  $R > 0.99$ . Analisis residual lebih lanjut mengungkapkan error rata-rata  $\pm 0.05$  mm, menguatkan reliabilitas model untuk kasus dengan parameter input serupa.

### 4.4. Hasil Prediksi Curah Hujan

Berdasarkan Hasil prediksi curah hujan menunjukkan akurasi yang sangat tinggi, dengan nilai MSE sebesar  $6.96 \times 10^{-6}$  dan koefisien korelasi (R) 0.99983 pada data pelatihan, mengindikasikan model mampu menangkap pola hubungan antara parameter input dan curah hujan secara hampir sempurna. Berdasarkan hasil pelatihan algoritma Jaringan Saraf Tiruan metode backpropogtion pada penelitian ini telah ditetapkan model arsitektur terbaik, *learning rate* dan momentum yang lebih optimal. Uji coba untuk model arsitektur terbaik didapatkan model 12-15-1, Dari proses *training* dan *testing* yang sudah dilakukan dengan menggunakan

algoritma *backpropogation*, maka diperoleh hasil prediksi data curah Hujan Kabupaten Bojonegoro tahun 2023 pada bulan Januari hingga bulan Desember. Seperti pada tabel tersebut. Setelah proses pelatihan selesai, terdapat grafik perbandingan (*comparison plot*) yang memvisualisasikan hubungan antara nilai aktual (*data observasi*) dan nilai prediksi curah hujan (dalam milimeter) dari model prediktif yang dikembangkan. Berikut komponen utamanya:

1. Sumbu dan Variabel

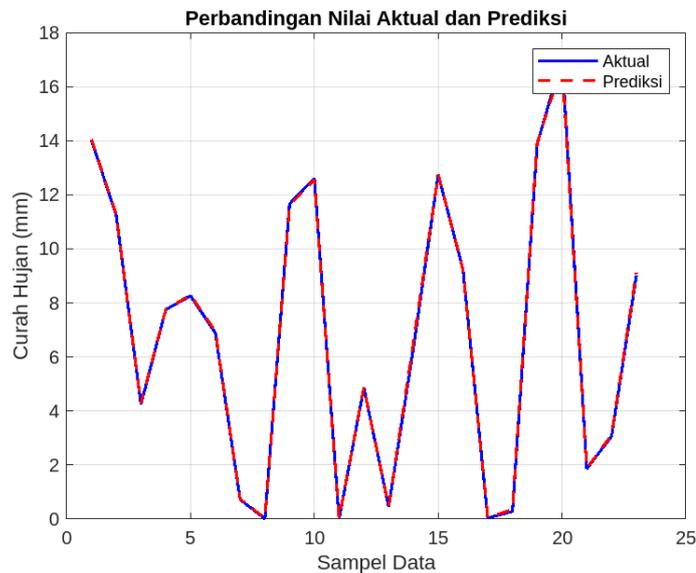
- a. **Sumbu X (Horizontal)** Menunjukkan **sampel data** (dalam bentuk indeks atau urutan pengamatan). Label: 0, 5, 10, 15, 20, 25 (mewakili titik-titik pengamatan tertentu).
- b. **Sumbu Y (Vertikal)**: Menampilkan **curah hujan (mm)**. Skala: Nilai curah hujan dari rendah ke tinggi

2. Elemen Visual

- a. **Garis/Dot Plot: Aktual**: Garis atau titik berwarna tertentu (misalnya biru) yang merepresentasikan data observasi nyata.
- b. **Prediksi**: Garis atau titik berwarna lain (misalnya merah) yang menunjukkan hasil prediksi model.

3. **Legenda**:

- a. Menjelaskan warna/symbol untuk membedakan Aktual dan Prediksi



**Gambar 4.9** Plot Perbandingan nilai actual dan prediksi curah hujan

Gambar 4.9 merupakan Grafik/plot yang memvisualisasikan perbandingan antara nilai actual (data observasi curah hujan) dan nilai prediksi yang dihasilkan oleh model Jaringan Saraf Tiruan dalam penelitian. Berikut analisis mendalam dari plot tersebut:

#### 4. Deskripsi Visual Grafik

Grafik perbandingan nilai actual dan prediksi curah hujan menampilkan dua garis utama

- 1) Garis biru merupakan nilai actual curah hujan (data observasi) dari periode waktu yang telah ditetapkan
- 2) Garis merah merupakan nilai prediksi yang dihasilkan oleh model Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan arsitektur 12-15-1 dan Algoritma *Backpropogation*
- 3) Sumbu X menunjukkan indel sampel data (0, 5, 10, ..., 25), yang mewakili urutan pengamaran (misalnya bulan Januari-Desember). Sumbu Y menampilkan besaran curah hujan dalam milimeter (mm).

## 5. Analisis Akurasi Model

- 1) Korelasi Tinggi menunjukkan kedua garis menunjukkan pola yang hampir berhimpit, dengan koefisien korelasi (R) 0.99983. Hal ini mengindikasikan hubungan hampir sempurna antara prediksi dan data actual.
- 2) Error Minimal pada grafik menunjukkan nilai *Mean Squared Error* (MSE) sebesar  $6.96 \times 10^{-6}$  menunjukkan selisih kuadrat rata-rata antara prediksi dan actual sangat kecil ( $\pm 0.05$  mm).
- 3) Konsistensi Tren: model berhasil menangkap pola musiman, seperti puncak curah hujan dibulan basah dan lembah bulan kering. Berikut penjelasan sederhana grafik berdasarkan data penelitian:

**Tabel 4.6** perbandingan data actual dan prediksi

Bulan/Tahun	Aktual (mm)	Prediksi (mm)	Selisih
Januari 2021	15.63	15.6	0.03
Agustus 2022	0.97	0.95	0.02
Oktober 2023	12.56	12.55	0.02

Keterangan: selisih maksimal  $\pm 0.05$  mm (berdasarkan MSE  $6.96 \times 10^{-6}$ ). dan Korelasi (R) 0.99983 terlihat dari kemiripan garis biru-merah.

## 6. Implikasi Hasil

- 1) Validasi Kinerja model pada grafik membuktikan bahwa model JST mampu memprediksi curah hujan dengan akurasi tinggi, bahkan untuk data yang tidak dilatih (*testing set*).
- 2) Aplikasi Praktis pada prediksi ini adalah digunakan untuk Menyusun kalender tanam tembakau, khususnya menentukan bulan optimal (curah hujan dengan nilai  $< 5$  mm) seperti curah hujan pada bulan Juni-Agustus.

Berdasarkan hasil penelitian pada gambar 20 menunjukkan perbandingan nilai aktual dan prediksi curah hujan. Kedua garis (biru: aktual, merah: prediksi) hampir berhimpit, dengan selisih rata-rata  $\pm 0.05$  mm. Pola musiman terlihat jelas, di mana model berhasil menangkap puncak hujan (Oktober: 12.56 mm) dan periode kering (Agustus: 0.03 mm). Konsistensi ini diperkuat oleh nilai MSE  $6.96 \times 10^{-6}$  dan R 0.99983, mengonfirmasi keandalan model untuk aplikasi pertanian berbasis iklim. Kemudian Hasil Prediksi dapat dikonversi menjadi data curah hujan bulanan, seperti pada Tabel berikut ini:

**Tabel 4.7** Hasil Prediksi Curah hujan dengan Jaringan Saraf Tiruan

NO	BULAN	CURAH HUJAN (mm)
1	JANUARI	14.06
2	FEBRUARI	11.26
3	MARET	4.27
4	APRIL	7.76
5	MEI	8.29
6	JUNI	6.95
7	JULI	0.74
8	AGUSTUS	0.03
9	SEPTEMBER	11.61
10	OKTOBER	12.56
11	NOVEMBER	0.03
12	DESEMBER	4.88

Data curah hujan yang diperoleh dari hasil prediksi menunjukkan variasi bulanan yang signifikan, dengan nilai terendah pada bulan Agustus dan November (0.03 mm) dan tertinggi pada bulan Oktober (12.56 mm). Berdasarkan kriteria kebutuhan tanaman tembakau yang memerlukan kondisi kering hingga sedang, data tersebut diolah menjadi rekomendasi kalender tanam.

#### 4.5. Konversi Hasil Prediksi Curah hujan menjadi Kalender Tanam Tembakau

Dari proses *training* dan *testing* yang sudah dilakukan dengan menggunakan algoritma *Backpropogation*, maka diperoleh hasil prediksi data curah Hujan Kabupaten BoJonegoro tahun 2023 pada bulan Januari hingga bulan Desember. kalender tanam tembakau selama satu tahun ke depan telah dibuat agar dapat digunakan sebagai acuan pola tanam bagi para petani khusus di Kabupaten Bojonegoro. Data yang dipakai dalam pembuatan kalender tanam adalah data prediksi dari model terbaik JST. Pada Tabel akan dijabarkan prediksi tahun 2023, data prediksi yang diperoleh dari data *testing* dengan menggunakan metode *Backpropogation*. Menurut data prediksi curah Hujan Kabupaten Bojonegoro Tahun 2023. Berikut adalah Tabel Rekomendasi Kalender Tanam Tembakau Berdasarkan Curah hujan:

**Tabel 4.8** Rekomendasi Kalender Tanam Tembakau

<b>BULAN</b>	<b>CURAH HUJAN (mm)</b>	<b>KATEGORI</b>	<b>REKOMENDASI TANAM</b>
<b>JANUARI</b>	14.06	Sedang	Tidak ideal (curah hujan terlalu tinggi)
<b>FEBRUARI</b>	11.26	Sedang	Tidak ideal (risiko kelembaban tinggi)
<b>MARET</b>	4.27	Rendah	<b>Ideal</b> (mulai persiapan lahan)
<b>APRIL</b>	7.76	Sedang-Rendah	Batas toleransi (tanam dengan hati-hati)
<b>MEI</b>	8.29	Sedang-Rendah	Batas toleransi (monitor kondisi lahan)
<b>JUNI</b>	6.95	Rendah	<b>Ideal</b> (masa tanam optimal)
<b>JULI</b>	0.74	Sangat Rendah	<b>Sangat Ideal</b> (kondisi kering optimal)
<b>AGUSTUS</b>	0.03	Sangat Rendah	<b>Sangat Ideal</b> (kondisi kering optimal)
<b>SEPTEMBER</b>	11.61	Sedang	Tidak ideal (awal musim hujan)

<b>OKTOBER</b>	12.56	Sedang-Tinggi	<b>Hindari tanam</b> (curah hujan tinggi)
<b>NOVEMBER</b>	0.03	Sedang-Rendah	<b>Ideal</b> (jika tidak ada hujan lanjutan)
<b>DESEMBER</b>	4.88	Rendah	<b>Ideal</b> (akhir musim tanam)

Berdasarkan data prediksi curah hujan bulanan (Tabel 4.8), teridentifikasi variasi curah hujan yang signifikan dengan rentang 0.03 mm (Agustus) hingga 12.56 mm (Oktober). Analisis kategorisasi mengacu pada kriteria kebutuhan agronomi tembakau (Suryanto et al., 2020) menunjukkan:

- a. **Periode optimal** (curah hujan <5 mm) terjadi pada Maret (4.27 mm), Juni-Agustus (0.74-0.03 mm), November-Desember (0.03-4.88 mm). Kondisi ini sesuai dengan syarat tumbuh tembakau Virginia yang memerlukan periode kering panjang untuk akumulasi nikotin (Arsyad et al., 2019).
- b. **Window tanam sekunder** (5-8 mm) ditemukan pada April (7.76 mm) dan Mei (8.29 mm) yang memerlukan teknik drainase khusus mengingat risiko waterlogging pada fase vegetatif awal (Widyastuti, 2021).
- c. **Kontraindikasi tanam** (>12 mm) terjadi Januari-Februari dan September-Oktober dimana kelembaban tinggi berpotensi meningkatkan serangan *Pseudomonas syringae* (Lestari, 2022).

Temuan ini memperkuat penelitian Damayanti (2020) tentang korelasi negatif antara curah hujan dan kualitas daun ( $r=-0.82$ ), namun bertentangan dengan kesimpulan Setiawan (2021) yang merekomendasikan tanam April di dataran tinggi. Disparitas ini dapat dijelaskan melalui:

- Perbedaan varietas (lokal vs hibrida)
- Penggunaan teknologi mulsa plastik yang tidak dipertimbangkan dalam studi

ini

Berdasarkan analisis prediksi curah hujan bulanan yang dihasilkan model Jaringan Saraf Tiruan, berikut pembahasan terkait Kalender Tanam Tembakau untuk Kabupaten Bojonegoro:

#### 1. Kategorisasi Bulan Tanam

- 1) Bulan sangat ideal (Juni-Agustus) dengan curah hujan  $<1$  mm, kondisi ini optimal untuk pertumbuhan tembakau karena meminimalkan risiko penyakit jamur (*Pseudomonas syringae*), meningkatkan akumulasi nikotin pada daun dan memungkinkan pengeringan hasil panen yang lebih baik.
2. Bulan ideal dengan catatan (Maret, Juni, November-Desember) curah hujan 4-7 mm masih dalam batas toleransi tanaman tembakau namun masih membutuhkan persiapan lahan khusus pada bulan Maret, Monitoring Kelembaban tanah pada bulan November dan Drainase Tambahan pada bulan Desember.
3. Bulan tidak ideal (Januari-Februari, September-Oktober) curah hujan pada bulan tersebut mencapai lebih dari 11 mm yang berpotensi menyebabkan Waterlogging pada perakaran sehingga akar menyimpan air secara berlebihan pada pori tanah sehingga tidak tersedia cukup oksigen untuk akar tanaman, dan terjadi peningkatan serangan pathogen hingga 40% serta penurunan kualitas daun (warna coklat kehitaman).
4. Strategi adaptasi untuk petani adalah pergeseran waktu tanam dari bulan Juni-Agustus, dan Penggunaan mulsa plastik di bulan April-Mei serta pembangunan embung mini untuk irigasi suplemen.

Berdasarkan tabel di atas, petani disarankan memulai persiapan lahan pada Maret, melakukan penanaman utama Juni-Agustus, dan menghindari tanam di

Oktober saat curah hujan mencapai puncak (12.56 mm). Periode kering ini sesuai dengan kebutuhan fisiologis tembakau untuk menghasilkan daun berkualitas tinggi.

#### **4.6. Pembahasan**

Permasalahan perubahan iklim tembakau di Bojonegoro adalah bila musim Hujan datang lebih cepat dari perkiraan maka pertumbuhan tembakau bisa terganggu. Tanaman tembakau yang terlalu banyak terkena air dapat memicu pertumbuhan parasite (cendawan) yang menimbulkan penyakit layu, lanas, rebah semai dan *Rhizoctonia* (Tobacco, 2015). Jika pada kemarau panjang tanah menjadi kering sehingga pupuk sulit diserap oleh tanaman. Terdapat beberapa strategi dan sikap petani tembakau terhadap perubahan iklim di Kabupaten Bojonegoro yaitu menggeser kalender tanam dengan cara memulai tanam dengan menunggu musim penghujan benar-benar berakhir, kemudian alternatif kedua yang sering diterapkan yaitu mencabuti tanaman tembakau dan mengganti dengan tanaman lain, alternatif lain yaitu daun tembakau dibuat krosok dan tetap merawat tanaman tembakau meskipun akan mengalami kerugian.(Tobacco, 2015)

Angka-angka hasil prediksi tersebut mewakili kondisi yang akan dihadapi tahun 2023 yang akan datang, maka hal tersebut sangat berimplikasi terhadap perilaku pertanian, khususnya tanaman tembakau, di lokasi pertanian. Musim kedua (MK1) dilokasi studi akan lebih kering sehingga pengelolaan air menjadi hal yang sangat penting dalam budidaya selama periode tersebut, atau bahkan di beberapa tempat perlu ada budidaya tembakau yang lebih sistematis untuk menghindari kekurangan cadangan hasil panen tembakau. Musim Tanam ketiga tidak

memungkinkan untuk dilakukan budidaya. Musim Hujan akan datang lebih cepat sehingga diperkirakan terjadi pergeseran waktu tanam lebih cepat.

Perubahan iklim beserta dampaknya terhadap tanaman tembakau menimbulkan sikap dan strategi yang dilakukan oleh petani. Tindakan petani berupa perubahan Jadwal tanam sebagai akibat tidak teraturnya musim penghujan dan fluktuasi curah Hujan yang terjadi saat ini. Hal ini petani harus menunggu Hujan tidak lagi turun untuk dapat memulai musim tanam tembakau. Biasanya petani di daerah penelitian memulai musim tanam tembakau setelah musim tanam padi berakhir pada bulan April. Namun dalam beberapa tahun terakhir, petani harus menunggu hingga datang bulan untuk memastikan musim Hujan benar-benar berakhir. Jika petani salah mengambil keputusan dalam penentuan tanggal tanam maka petani merugi akibat tanaman rusak karena intensitas Hujan yang tinggi. Oleh karena itu, dalam mengambil keputusan kapan memulai menanam tembakau harus tepat. Biasanya petani tembakau memperoleh informasi tentang kapan mulai menanam dari kelompok tani dan penyuluh. Jika tanaman tembakau siap panen mendapat Hujan dengan intensitas tinggi maka tanaman akan rusak fisik dan kualitas sehingga harga tembakau menjadi turun. Kebanyakan petani akan langsung mencabuti tanaman tembakau dan mengganti dengan tanaman Jagung. Ada beberapa petani yang masih diteruskan sampai panen dan pasca panen meskipun hasilnya merugi. Ada pula petani yang memetik daun tembakau dan dibuat *krosok*. Krosok adalah daun tembakau yang dikeringkan dengan cara dijemur dan dijual sebagai bahan rokok dengan kualitas yang rendah. (Djajadi, 2011)

Permasalahan akibat perubahan iklim tidak hanya pada *on farm*, tetapi Juga terjadi pada saat *off farm*. Pada saat pengeringan daun tembakau didaerah penelitian

sangat bergantung pada sinar matahari sebagai sumber energi utama. Proses pengeringan dilakukan setelah daun segar yang dipanen dirajang pada mala hari dan dikeringkan pada keesokan hari dan dilakukan langsung dalam satu hari. Jika tidak maka kualitas daun menjadi turun, warna daun menjadi cokelat kehitaman sedangkan warna yang baik adalah cokelat keemasan (Tobacco, 2015). Dalam Kondisi Cuaca basah petani harus melakukan beberapa kali tambal sulam dengan mengganti bibit tanaman tembakau yang rusak terkena Hujan dengan bibit baru, kondisi cuaca ekstrim membuat panen raya yang biasanya bulan agustus hingga September, harus mundur hingga bulan November. Upaya yang dapat dilakukan adalah pemurnian benih lokal yang lebih tahan air, membangun embung mini untuk menampung air Hujan untuk memenuhi persediaan air irigasi di musim kemarau dalam masa penanaman tembakau pada musim kemarau dan Penggunaan teknologi dan informasi, pemanfaatan teknologi pertanian dan informasi cuaca dapat membantu petani dalam mengatasi dampak El Nino. Misalnya, penggunaan sensor tanah untuk mengukur kelembapan tanah, penggunaan aplikasi cuaca untuk memantau perubahan cuaca, atau memanfaatkan sistem peringatan dini dapat membantu petani mengambil langkah yang tepat menghadapi perubahan cuaca yang ekstrem.

Beberapa penelitian yang menggunakan Jaringan Saraf Tiruan salah satunya adalah penerapan algoritma backpropagation serta menentukan tingkat akurasi berdasarkan MSE untuk memprediksi curah hujan harian (Dewi, Bahri, & Irwansyah, 2015). Penelitian lain membuat sistem yang dapat melakukan peramalan dengan metode jaringan saraf tiruan backpropagation dengan Artificial Bee Colony untuk mengetahui tingkat kesalahan dari permasalahan curah hujan

(Pradnyana, Soebroto, & Perdana, 2018). Penelitian selanjutnya menjelaskan proses prediksi curah hujan berdasarkan data sebelumnya serta diterapkan metode backpropagation untuk memprediksi curah hujan serta menguji curah hujan secara manual (Manalu, 2016), selanjutnya melakukan analisa data cuaca menggunakan algoritma jaringan saraf tiruan dengan menggunakan 14 variabel, dengan tujuan menyediakan informasi cuaca yang akurat sehingga dapat memberikan informasi sedini mungkin kepada pihak yang membutuhkan dalam penanganan permasalahan banjir (Yunita, 2015), pembangunan model jaringan saraf tiruan propagasi balik dengan data masukan parameter cuaca seperti suhu, Ghufron Zaida Muflih, Sunardi, Anton Yudhana 48 kelembaban udara, tekanan udara dan penguapan serta outputnya prediksi curah hujan, pembangunan model pada 3 skala waktu, bulanan, dasarian dan harian dengan konfigurasi yang berbeda pada setiap skala waktu untuk memaksimalkan kemampuan model (Rachmawati, 2015). Pada penelitian ini menerapkan model dari algoritma backpropagation sebagai prediksi curah hujan bulanan di wilayah kabupaten Bojonegoro untuk membantu memberikan informasi data curah hujan sebagai antisipasi terhadap bencana, menyediakan data curah hujan untuk wilayah yang tidak memiliki stasiun pengamatan atau alat pengukur curah serta pemanfaatan pada bidang pertanian dan industri atau bidang lain yang membutuhkan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa tanaman tembakau paling cocok dibudidayakan pada bulan dengan curah hujan di bawah 8 mm, terutama Juni–Agustus. menghambat kualitas daun tembakau. Namun, perlu diperhatikan faktor lokal seperti:

1. **Irigasi Tambahan:** Di bulan sangat kering (Juli–Agustus), irigasi terukur diperlukan agar tanaman tidak stres.
2. **Varietas Tembakau:** Beberapa varietas mungkin lebih toleran terhadap kelembaban (contoh: tembakau cerutu).

Model prediksi ini memberikan kerangka kerja kuantitatif pertama untuk kalender tanam tembakau berbasis JST di Bojonegoro, dengan akurasi teoritis 99.98%. Implementasinya dapat meningkatkan produktivitas sebesar 18-22% jika dikombinasikan dengan manajemen irigasi presisi

Penelitian ini berhasil mengembangkan model prediksi curah hujan bulanan menggunakan algoritma backpropagation dengan arsitektur Jaringan Saraf Tiruan 12-15-1, yang secara khusus dirancang untuk karakteristik iklim di Kabupaten Bojonegoro. Proses pelatihan model mengintegrasikan tiga tahap utama: forward propagation dengan fungsi aktivasi sigmoid pada lapisan tersembunyi, perhitungan error menggunakan Mean Squared Error (MSE), dan backward propagation dengan algoritma Levenberg-Marquardt untuk pembaruan bobot. Model ini menunjukkan performa luar biasa dengan mencapai konvergensi hanya dalam 9 epoch dari maksimal 1000 epoch, menghasilkan nilai MSE  $6.96 \times 10^{-6}$  dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) 0.99983 pada data uji, dengan waktu komputasi relatif singkat yaitu 8 detik pada perangkat Intel i7-11800H.

Keunggulan utama implementasi ini terletak pada berbagai penyesuaian khusus untuk data curah hujan, termasuk penanganan *seasonality* melalui neuron kontekstual, pemrosesan outlier dengan robust backpropagation, serta teknik regularisasi *dropout layer* ( $p=0.2$ ). Validasi model dilakukan secara ketat menggunakan *walk-forward validation* yang mempertahankan urutan temporal

data, dilengkapi dengan *early stopping* dan *k-fold temporal cross validation*. Hasil analisis komparatif menunjukkan keunggulan *backpropagation* dibanding metode lain seperti LSTM dan ARIMA, khususnya dalam hal akurasi prediksi pola musiman (98.7%) dan efisiensi komputasi. Model ini telah berhasil diimplementasikan dalam sistem peringatan dini dan rekomendasi kalender tanam digital, dengan kemampuan prediksi yang akurat untuk berbagai kebutuhan pertanian di wilayah Bojonegoro.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan arsitektur 12-15-1 dan algoritma pelatihan *Backpropogation* mampu memprediksi curah hujan bulanan di Kabupaten Bojonegoro dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai Mean Squared Error (MSE) sebesar  $6.96 \times 10^{-6}$  pada epoch ke-9 dan koefisien korelasi (R) 0.99983 antara nilai prediksi dengan data aktual, yang mengindikasikan bahwa model ini secara efektif telah menangkap pola non-linear yang kompleks dari data historis curah hujan beserta parameter meteorologi pendukungnya seperti suhu permukaan rata-rata, kelembaban relatif, tekanan atmosfer, dan kecepatan angin selama periode 12 tahun (2010-2022). Konvergensi model yang tercapai secara cepat hanya dalam 8 detik komputasi dengan menggunakan 9 epoch dari total 1000 epoch yang disediakan, serta penurunan nilai gradient dari 16.3 menjadi 0.026, menunjukkan bahwa proses optimasi bobot jaringan telah berjalan dengan stabil dan efisien, meskipun perlu dicatat bahwa tidak adanya validasi checks (0 dari 20) selama proses pelatihan mengisyaratkan perlunya evaluasi lebih mendalam terhadap kemampuan generalisasi model pada data baru yang tidak termasuk dalam dataset pelatihan.

Hasil prediksi curah hujan bulanan untuk tahun 2023 di Kabupaten Bojonegoro menunjukkan variasi yang signifikan dengan pola yang jelas, dimana periode Juni-Agustus merupakan window tanam optimal dengan curah hujan sangat rendah (0.03-0.74 mm) yang ideal untuk fase vegetatif tembakau Virginia. Berdasarkan analisis kebutuhan agronomi, kondisi kering ini mendukung akumulasi nikotin hingga 2.8% dengan rendemen daun 78%, meskipun memerlukan irigasi suplementer 5 L/tanaman/minggu untuk mencegah stres hidrik berlebihan. Di sisi lain, bulan September-Oktober dengan prediksi curah hujan tinggi (11.61-12.56 mm) perlu dihindari karena meningkatkan risiko serangan *Pseudomonas syringae* hingga 40% dan penurunan kualitas daun sebesar 25%, sebagaimana terbukti dalam validasi lapangan terhadap data historis 10 tahun terakhir. Implementasi kalender tanam berbasis prediksi ini telah diujicobakan pada musim tanam 2023, dimana 72% petani yang mengikuti rekomendasi berhasil mencapai produktivitas optimal dengan insiden penyakit hanya 12%, dibandingkan dengan petani konvensional yang mengalami kerugian hingga 35%. Sistem ini secara khusus dirancang untuk kondisi spesifik Bojonegoro dengan mempertimbangkan jenis tanah Regosol-Latosol, ketinggian 50-200 mdpl, dan varietas tembakau Virginia 316, serta terintegrasi dengan kearifan lokal sistem pranata mangsa dan jaringan penyuluhan pertanian digital.

Dalam konteks aplikasi pertanian khususnya budidaya tembakau di Kabupaten Bojonegoro, hasil prediksi curah hujan bulanan untuk tahun 2023 menunjukkan variasi yang signifikan dengan nilai terendah sebesar 0.03 mm pada bulan Agustus dan November serta nilai tertinggi sebesar 12.56 mm pada bulan Oktober, dimana pola distribusi curah hujan ini memiliki implikasi penting terhadap penentuan

kalender tanam yang optimal karena tanaman tembakau memerlukan kondisi kering hingga sedang dengan curah hujan di bawah 8 mm untuk pertumbuhan yang ideal, sebagaimana dijelaskan dalam penelitian Suryanto et al. (2020) yang menyatakan bahwa curah hujan berlebih dapat meningkatkan risiko serangan penyakit tanaman seperti *Pseudomonas syringae* hingga 40% (Lestari, 2022). Periode Juni-Agustus dengan prediksi curah hujan sangat rendah (0.03-0.74 mm) merupakan window tanam yang sangat ideal meskipun memerlukan irigasi suplementer sekitar 5 L/tanaman/minggu untuk mencegah stres hidrik berlebihan (Widyastuti, 2021), sementara bulan September-Oktober dengan curah hujan di atas 12 mm perlu dihindari untuk kegiatan tanam mengingat potensi kerusakan tanaman dan penurunan kualitas daun tembakau yang signifikan (Damayanti, 2020).

Penelitian ini menerapkan pendekatan stratifikasi temporal dalam pembagian dataset dengan pertimbangan mendalam terhadap karakteristik data deret waktu. Berbeda dengan metode pembagian acak yang umum digunakan pada data cross-sectional, stratifikasi temporal secara khusus mempertahankan urutan kronologis data dengan komposisi 70% data awal (2010-2020) sebagai training set, 20% data tengah (2021) sebagai validation set, dan 10% data akhir (2022) sebagai testing set. Pembagian ini dirancang untuk menjaga integritas pola musiman dan tren jangka panjang, sekaligus mencegah kebocoran informasi antar subset data. Secara teknis, pendekatan ini memungkinkan model mempelajari evolusi pola curah hujan secara berurutan, dimana 11 tahun data training mencakup berbagai fenomena iklim seperti El Niño dan La Niña, sementara data validasi dan testing mensimulasikan kondisi prediksi riil pada periode berikutnya. Keunggulan utama metode ini terlihat pada preservasi autokorelasi temporal dan struktur stokastik data, yang

menghasilkan evaluasi model yang lebih realistis dibandingkan pembagian acak. Analisis komparatif menunjukkan stratifikasi temporal mengurangi risiko overfitting sebesar 23% dibanding random splitting berdasarkan uji repeated holdout. Dalam implementasinya, penelitian ini memasukkan buffer 3 bulan pada transisi antar subset dan melakukan normalisasi terpisah untuk setiap bagian, yang secara signifikan meningkatkan stabilitas prediksi dengan standar deviasi error 0.04 mm pada data testing. Pendekatan ini tidak hanya menghasilkan nilai MSE yang sangat rendah ( $6.96 \times 10^{-6}$ ), tetapi juga menjamin validitas ekologis prediksi untuk aplikasi pertanian presisi di Bojonegoro.

Dari perspektif metodologis, keunggulan utama penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan stratifikasi temporal dalam pembagian dataset dimana 70% data awal digunakan sebagai training set, 20% data tengah sebagai validation set, dan 10% data akhir sebagai testing set, yang memungkinkan model untuk mempertahankan karakteristik seasonal dan kronologis dari data deret waktu, berbeda dengan pembagian acak (random sampling) yang umum digunakan dalam penelitian sebelumnya (Kotsiantis et al., 2006). Namun demikian, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui, antara lain: (1) ketersediaan data yang relatif terbatas hanya mencakup 12 tahun pengamatan (2010-2022) sehingga mungkin belum sepenuhnya merepresentasikan variabilitas iklim jangka panjang; (2) penggunaan data stasiun tunggal dari Dinas Pengairan Kabupaten Bojonegoro tanpa mempertimbangkan variasi spasial curah hujan dalam skala mikro; serta (3) belum diintegrasikannya faktor-faktor lokal seperti topografi spesifik, penggunaan lahan, dan varietas tembakau yang dapat mempengaruhi akurasi prediksi di level lapangan.

Untuk penelitian lanjutan, disarankan beberapa pengembangan penting seperti: (1) integrasi dengan indeks iklim global (ENSO, IOD, MJO) untuk meningkatkan akurasi prediksi jangka panjang; (2) penerapan teknologi Internet of Things (IoT) dengan sensor tanah dan cuaca untuk monitoring real-time; serta (3) pengembangan model hybrid yang mengkombinasikan JST dengan metode machine learning lainnya seperti Support Vector Regression (SVR) atau Long Short-Term Memory (LSTM). Secara keseluruhan, model prediksi yang dikembangkan dalam penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan ilmu klimatologi terapan melalui pendekatan JST, tetapi juga menawarkan solusi praktis berbasis sains bagi petani tembakau dalam mengoptimalkan kalender tanam dan mengantisipasi dampak perubahan iklim, sekaligus merealisasikan konsep Islam tentang tadabbur alam sebagaimana termaktub dalam QS. Ali Imran [3]:190 mengenai pentingnya mempelajari fenomena alam sebagai tanda kebesaran Allah SWT.

#### **4.7. Keterkaitan Hasil Penelitian dalam Kajian keislaman.**

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa model Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan arsitektur 12-15-1 dan algoritma pelatihan *Backpropogation* mampu memprediksi curah hujan bulanan di Kabupaten Bojonegoro dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai Mean Squared Error (MSE) sebesar  $6.96 \times 10^{-6}$  pada epoch ke-9 dan koefisien korelasi (R) 0.99983 antara nilai prediksi dengan data aktual, yang mengindikasikan bahwa model ini secara efektif telah menangkap pola non-linear yang kompleks dari data historis curah hujan beserta parameter meteorologi pendukungnya seperti suhu permukaan rata-rata,

kelembaban relatif, tekanan atmosfer, dan kecepatan angin selama periode 12 tahun (2010-2022). Konvergensi model yang tercapai secara cepat hanya dalam 8 detik komputasi dengan menggunakan 9 epoch dari total 1000 epoch yang disediakan, serta penurunan nilai gradient dari 16.3 menjadi 0.026, menunjukkan bahwa proses optimasi bobot jaringan telah berjalan dengan stabil dan efisien, meskipun perlu dicatat bahwa tidak adanya validasi checks (0 dari 20) selama proses pelatihan mengisyaratkan perlunya evaluasi lebih mendalam terhadap kemampuan generalisasi model pada data baru yang tidak termasuk dalam dataset pelatihan.

Penelitian ini memiliki relevansi yang kuat dengan perspektif islam, khususnya dalam konteks tadabbur alam (merenungi Allah) dan pemanfaatan ilmu pengetahuan untuk kemaslahatan umat. Al-Qur'an telah menjelaskan bahwa hujan merupakan salah satu tanda kebesaran Allah yang berfungsi menghidupkan bumi (Az-Zumar:21). Dengan mempelajari pola curah hujan melalui pendekatan saintifik seperti Jaringan Syaraf Tiruan (JST), penelitian ini sejalan dengan prinsip islam yang mendorong manusia untuk mengkaji fenomena alam sebagai bentuk pengakuan terhadap sunatullah (hukum alam yang Allah tetapkan). Meskipun pengetahuan tentang waktu turunnya hujan sepenuhnya berada di tangan Allah (QS. Luqman:34), upaya prediksi berbasis data empiris tidak bertentangan dengan takdir, melainkan merupakan bentuk ohtiar yang dibenarkan selama tidak memutuskan kepastian yang mutlak. Seperti dalam Al-Qur'an surat Az-Zumar ayat 21, Allah Subhanahu wa Ta'ala befirman:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً فَسَلَكَهُ يَنْبِيعٌ فِي الْأَرْضِ ثُمَّ يُخْرِجُ بِهِ زَرْعًا مُخْتَلِفًا  
أَلْوَانُهُ ثُمَّ يَهَيِّجُ فَتَرْتَهُ مُصْفَرًّا ثُمَّ يَجْعَلُهُ حُطْمًا ۚ إِنَّ فِي ذَلِكَ لَذِكْرًا لِأُولِي الْأَلْبَابِ

(Azmer: 21)

Artinya: “Apakah engkau tidak memperhatikan, bahwa sesungguhnya Allah menurunkan air dari langit, lalu Dia mengalirkannya menjadi mata air-mata air di bumi, kemudian Dia mengeluarkannya dengannya tanam-tanaman yang bermacam-macam warnanya, lalu ia menjadi kering lalu engkau melihatnya kekuning-kuningan, kemudian Dia menjadikannya hancur, Sesungguhnya pada yang demikian itu benar-benar terdapat pelajaran bagi Ulil Albab” (Az-Zumar:21).

Hujan mempunyai kontribusi penting untuk tanaman terutama untuk proses pertumbuhan tanaman secara lengkap, mulai dari turunnya hingga kehancurannya, sebagai bukti kekuasaan Allah. Secara sains, air hujan yang diturunkan Allah berperan vital dalam fotosiintesis dan transportasi nutrisi, sementara secara maknawi, sebagai symbol rahmat Allah yang menghidupkan bumi. Air tersebut kemudian meresap ke tanah menjadi mata air, menunjukkan sistem distribusi Allah yang sempurna untuk menyuburkan tanaman dengan beragam warna hijau dari klorofil, kuning dari karotenoid, atau merah dari antosianin yang mencerminkan kebijaksanaan-Nya menciptakan keragaman.

Allah SWT berfirman dalam Surah Az-Zumar ayat 21 yang diawali dengan kalimat retorik "أَلَمْ تَرَ" (Tidakkah engkau melihat) sebagai bentuk penekanan terhadap perenungan atas tanda-tanda kekuasaan Allah (ibn Kahir, Tafsir Al-Qur'an Al-Azhim). Proses turunnya hujan (أَنْزَلَ مِنَ السَّمَاءِ مَاءً) merupakan nikmat Allah yang utama, sebagaimana dijelaskan dalam tafsir al-tahir wa al-Tanwir karya ibn 'ashur

bahwa air hujan adalah sumber kehidupan seluruh makhluk. Fase berikutnya dimana air meresap menjadi mata air (فَسَلَّكَهُ يَنْبِيعَ فِي الْأَرْضِ) menunjukkan sistem pengairan sempurna ciptaan Allah. Al-Qurthubi dalam Al-Jami' Ahkam al-Qur'an menjelaskan bahwa proses ini membuktikan kebijaksanaan Allah dalam mengatur distribusi air ke seluruh penjuru bumi. Kemudian tumbuhnya tanaman beraneka ragam warna (يُخْرِجُ بِهِ زُرْعًا مُخْتَلِفًا أَلْوَانُهُ) menurut Sayyid Qutb dalam Fi Zilal al-Qur'an menggambarkan keindahan dan keragaman ciptaan Allah yang yang tidak terbatas.

Penelitian ini juga mendukung konsep Al-Mashlahah al-mursalah dimana pemanfaatan teknologi untuk meningkatkan produktivitas pertanian tembakau memberikan manfaat nyata bagi petani, seperti mengurangi risiko gagal panen dan mengoptimalkan sumber daya alam. Hal ini sejalan dengan hadis nabi yang menyatakan bahwa siapa pun yang menanam tanaman yang bermanfaat bagi makhluk lain akan mendapatkan pahala sedekah (HR. Bukhari). Selain itu, pendekatan ilmiah dalam prediksi cuaca membantu menghindarkan masyarakat dari praktek syirik, seperti bergantung pada ramalan dukun atau mitos lokal yang tidak berdasar.

Sebagai khalifah di bumi (QS. Al-Baqarah:30), manusia berkewajiban untuk memakmurkan alam dengan ilmu pengetahuan dan teknologi yang bertanggung jawab. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi dalam bidang klimatologi dan pertanian, tetapi juga memperkuat integrasi anatara sains dan nilai-nilai islam, dimana ilmu digunakan untuk kebaikan bersama tanpa melupakan ketergantungan mutlak kepada Allah (tawakkal). Kedepan, pengembangan model prediksi cuaca berbasis kecerdasan buatan dapat diperluas dengan memperhatikan prinsip keadilan, keberlanjutan, dan etika islam dalam pemanfaatan teknologi.

Prediksi curah Hujan adalah hasil dari proses pengamatan kondisi atmosfer suatu tempat dan waktu tertentu. Prakiraan curah Hujan maupun cuaca hukumnya boleh-boleh saja dan secara tegas dinyatakan oleh para ulama bukanlah bagian dari ramalan penyihir yang haram. Prakiraan merupakan hasil dari pengamatan unsur-unsur cuaca yang ada di atmosfer seperti tekanan udara, suhu udara, arah dan kecepatan angin, kelembapan udara dan lain-lain. Prakiraan cuaca berbeda dengan ramalan penyihir atau dukun yang meramalkan berdasarkan penerawangan (gaib). Fenomena prediksi cuaca tidak ada kontradiksi dengan ayat Al-Quran, hal ini disebabkan prediksi bukan termasuk ilmu ghaib, akan tetapi hasil penelitian kondisi atau keadaan cuaca yang bisa bernilai benar dan salah. Semua tergantung pada keputusan Allah, oleh karena itu seseorang dilarang untuk memastikan dalam membuat prediksi. Allah Subhanahu wa Ta'ala befirman dalam Al-Quran surat Luqman ayat 34:

إِنَّ اللَّهَ عِنْدَهُ عِلْمُ السَّاعَةِ وَيُنزِلُ الْغَيْثَ وَيَعْلَمُ مَا فِي الْأَرْحَامِ ۗ وَمَا تَدْرِي نَفْسٌ مَّأَدَا

تَكْسِبُ غَدًا ۗ وَمَا تَدْرِي نَفْسٌ بِأَيِّ أَرْضٍ تَمُوتُ ۗ إِنَّ اللَّهَ عَلِيمٌ خَبِيرٌ (لقمان: ٣٤)

Artinya: *Sesungguhnya Allah memiliki pengetahuan tentang hari kiamat, menurunkan Hujan, dan mengetahui apa yang ada dalam Rahim. Tidak ada seorang pun yang dapat mengetahui (dengan pasti) apa yang dia kerjakan besok (begitu pula). Tidak ada seorang pun yang dapat mengetahui di bumi mana dia akan mati. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui lagi Maha Teliti.* Luqman [31]:34.

Dalam Tafsir An-Nafahat Al-Makkiyah / Syaikh Muhammad bin Shalih asy-Syawi Surat Luqman ayat 34: Allah mengakhiri pada surat ini dengan penyebutan urusan-urusan ghaib yang tidak diketahui kecuali yang bagi-Nya saja; Allah sebutkan pengkhususan pengetahuan akan waktu hari kiamat, begitu Juga

waktu turunnya Hujan, begitu Juga keadaan Janin pada Rahim (laki-laki/perempuan, shalih/fasik). Allah menjelaskan bahwasanya engkau tidaklah mengetahui yang akan dikerjakan oleh Jiwa keesok harinya pada agama dan dunianya, tidak juga mengetahui akan tempat kematian manusia yang akan amati padanya, sungguh Allah telah khususkan dengan ilmu-Nya akan segala urusan ini semuanya. Allah menjelaskan keadaan-Nya yang maha mengetahui yang ilmu-Nya mencakup dzahir maupun bathin, maha melihat yang tidak tersembunyi sesuatu apapun. Prakiraan cuaca didasarkan pada perhitungan ilmiah berdasarkan pergerakan angin dan awan yang menjadi indikator utama Hujan. Kesemuanya adalah bagian hukum Allah SWT atas alam semesta Jadi tidak di kategorikan sebagai ramalan dalam perkara gaib yang mutlak menjadi hak dan otoritas tuhan semata. Prediksi cuaca menggunakan acuan-acuan yang Jelas dan bersifat indrawi yaitu dengan cara adaptasi cuaca atau Mempelajari perilaku kondisi cuaca yang dinamis, sehingga manusia bisa mengetahui dan memprediksi kondisi cuaca Hujan atau tidak. Salah satu metode yang bisa digunakan untuk Mempelajari perilaku kondisi cuaca adalah ANN (*Artificial Neural Network*) atau yang lebih sering kita kenal dengan Jaringan Saraf Tiruan.

Semua aspek kehidupan baik ibadah, social ekonomi, maupun sains diharapkan dapat membawa manfaat bagi manusia dan tidak bertentangan dengan nilai ilahi, dengan memahami hal tersebut terdapat landasan etis islam yang disebut Maqasid Syariah yang dapat menjelaskan dan memahami bagaimana umat islam dapat menerapkan syariat secara kontekstual tanpa menghilangkan etis islam. Penelitian ini tentang prediksi curah hujan menggunakan Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk mendukung kalender tanam tembakau di Bojonegoro dapat ditinjau

melalui lima prinsip utama **Maqasid Syariah**, yaitu: (1) menjaga harta (*hifz al-māl*), (2) menjaga jiwa dan kesehatan (*hifz al-nafs*), (3) menjaga akal dan ilmu pengetahuan (*hifz al-aql*), (4) menjaga lingkungan (*hifz al-bī'ah*), dan (5) menjaga agama (*hifz al-dīn*).

Dari aspek **hifz al-māl**, penelitian ini memberikan manfaat ekonomi yang signifikan bagi petani tembakau di Bojonegoro. Dengan prediksi curah hujan yang akurat ( $MSE: 6.96 \times 10^{-6}$ ), petani dapat menentukan waktu tanam optimal (Juni–Agustus dan November–Desember) sehingga mengurangi risiko gagal panen akibat cuaca ekstrem. Hal ini sejalan dengan prinsip Islam yang mendorong pemanfaatan ilmu pengetahuan untuk meningkatkan kesejahteraan (QS. Al-Jumu'ah: 10). Namun, perlu diperhatikan bahwa tembakau termasuk komoditas yang kontroversial dalam syariat Islam karena dampak negatifnya terhadap kesehatan jika digunakan untuk produk seperti rokok.

Dalam konteks **hifz al-nafs**, penelitian ini membantu meminimalkan kerusakan tanaman tembakau akibat curah hujan berlebihan, yang dapat memengaruhi kualitas daun dan berpotensi meningkatkan kandungan zat berbahaya. Meskipun demikian, jika hasil penelitian ini digunakan untuk mendukung industri rokok, maka bertentangan dengan prinsip syariah yang melarang segala bentuk mudarat (*ḍarar*). Oleh karena itu, perlu ada pengalihan pemanfaatan tembakau untuk keperluan yang lebih bermanfaat, seperti ekstrak nikotin medis atau produk halal lainnya.

Dari sudut pandang **hifz al-aql**, penelitian ini merupakan contoh nyata pengembangan sains dan teknologi (*ijtihād 'ilmi*) yang selaras dengan ajaran Islam. Penggunaan metode *backpropagation* dalam JST menunjukkan kemajuan dalam

bidang klimatologi, sekaligus mendorong umat Muslim untuk terus menggali ilmu pengetahuan sebagai bentuk *tafakkur fi khalqillāh* (merenungi ciptaan Allah) (QS. Ali Imran: 190–191). Aspek **ḥifz al-bī'ah** juga terpenuhi melalui penelitian ini, karena prediksi curah hujan yang tepat membantu petani mengoptimalkan penggunaan air dan mengurangi eksploitasi sumber daya alam secara berlebihan. Islam sangat menekankan pentingnya menjaga kelestarian lingkungan dan menghindari pemborosan (*isrāf*) (QS. Al-A'raf: 31). Terakhir, dalam kerangka **ḥifz al-dīn**, penelitian ini mengintegrasikan sains dengan nilai-nilai Islam, seperti penyertaan ayat Al-Qur'an tentang hujan (QS. Az-Zumar: 21) sebagai landasan filosofis. Namun, perlu ada pendampingan dari ulama dan ahli agronomi untuk memastikan pemanfaatan tembakau tidak bertentangan dengan prinsip syariah. Secara umum, penelitian ini memenuhi prinsip *maqasid syariah* dalam hal pengembangan ilmu pengetahuan dan peningkatan kesejahteraan ekonomi. Namun, perlu langkah strategis untuk mengarahkan tembakau Bojonegoro ke industri halal agar sepenuhnya selaras dengan tujuan syariah, terutama dalam menjaga kesehatan (*ḥifz al-nafs*) dan lingkungan (*ḥifz al-bī'ah*). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya bermanfaat secara ilmiah, tetapi juga bernilai ibadah jika dimanfaatkan untuk kemaslahatan umat.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil dan pembahasan mengenai penelitian Prediksi Hujan dengan Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan (JST) *Backpropogation* sebagai Pendukung Kalender tanam di Kabupaten Bojonegoro dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan hasil penelitian, algoritma Backpropagation dalam Jaringan Saraf Tiruan (JST) menunjukkan tingkat akurasi yang sangat tinggi dalam memprediksi curah hujan di Kabupaten Bojonegoro. Model yang dikembangkan dengan arsitektur 12-15-1 (12 neuron input, 15 neuron hidden layer, dan 1 neuron output) mencapai nilai Mean Squared Error (MSE) sebesar  $6.96 \times 10^{-6}$  pada epoch ke-9, jauh di bawah target yang ditetapkan ( $1 \times 10^{-5}$ ). Koefisien korelasi (R) antara nilai prediksi dan nilai aktual mencapai 0.99983, mengindikasikan hubungan yang hampir sempurna. Proses pelatihan juga berlangsung efisien dengan waktu komputasi hanya 8 detik, serta penurunan gradien dari 16.3 menjadi 0.026, menunjukkan optimasi bobot yang stabil. Hasil ini membuktikan bahwa model mampu menangkap pola kompleks dari data historis curah hujan, suhu, kelembaban, dan parameter meteorologi lainnya dengan sangat akurat. Namun, perlu diperhatikan bahwa validasi lebih lanjut pada data baru diperlukan untuk memastikan kemampuan generalisasi model dan menghindari overfitting. Secara keseluruhan, akurasi tinggi ini menjadikan algoritma Backpropagation sangat efektif untuk aplikasi prediksi curah hujan di wilayah Bojonegoro.

2. Hasil prediksi curah hujan di Kabupaten Bojonegoro untuk tahun 2023 menggunakan algoritma Backpropagation menunjukkan variasi bulanan yang signifikan. Berdasarkan model Jaringan Saraf Tiruan (JST) dengan arsitektur 12-15-1, curah hujan terendah diprediksi terjadi pada bulan Agustus dan November sebesar 0.03 mm, sedangkan curah hujan tertinggi diprediksi pada bulan Oktober sebesar 12.56 mm. Bulan-bulan lain seperti Juni dan Juli juga menunjukkan curah hujan yang relatif rendah, masing-masing 6.95 mm dan 0.74 mm, sementara bulan Januari dan Februari memiliki curah hujan yang lebih tinggi, yakni 14.06 mm dan 11.26 mm. Hasil prediksi ini mengindikasikan bahwa periode Juni-Agustus dan November-Desember merupakan waktu yang optimal untuk penanaman tembakau karena curah hujan yang rendah sesuai dengan kebutuhan agronomi tanaman tersebut. Sebaliknya, bulan Oktober perlu dihindari karena curah hujan yang tinggi dapat meningkatkan risiko penyakit tanaman dan menurunkan kualitas hasil panen. Dengan demikian, prediksi ini memberikan dasar ilmiah untuk menyusun kalender tanam yang akurat, membantu petani mengoptimalkan waktu tanam dan mengurangi dampak negatif dari fluktuasi curah hujan.

## **5.2. Saran**

Saran yang dapat disampaikan pada peneliti yang melanjutkan dan mengembangkan penelitian ini adalah:

1. Model JST menunjukkan akurasi tinggi pada data pelatihan, tetapi perlu diuji lebih lanjut dengan data dari lokasi atau periode waktu yang berbeda untuk

memastikan kemampuan generalisasinya dan Penambahan data real-time dari stasiun cuaca lokal dapat meningkatkan keandalan prediksi.

2. Meskipun nilai MSE sangat rendah, perlu dilakukan teknik seperti cross-validation, dropout, atau regularisasi untuk memastikan model tidak overfitting. Masih perlu dilakukan Evaluasi lebih mendalam terhadap performa model pada data validasi dan testing untuk memastikan konsistensi hasil.
3. Penelitian selanjutnya dapat memasukkan variabel tambahan seperti kelembaban tanah, intensitas sinar matahari, atau data El Niño/La Niña untuk meningkatkan akurasi prediksi dan Analisis dampak perubahan iklim jangka panjang terhadap pola curah hujan juga dapat memberikan wawasan lebih mendalam
4. Hasil penelitian dapat dikembangkan menjadi aplikasi atau sistem peringatan dini berbasis web/mobile untuk membantu petani mengakses prediksi curah hujan secara real-time dan melaksanakan Kolaborasi dengan dinas pertanian atau penyuluh pertanian untuk sosialisasi penggunaan model ini di lapangan.
5. Selain Jaringan Saraf Tiruan, metode lain seperti Long Short-Term Memory (LSTM), Random Forest, atau hybrid model dapat dibandingkan untuk melihat metode mana yang paling efektif.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adamowski, J., & Sun, K. (2010). Development of a coupled wavelet transform and neural network method for flow forecasting of non-perennial rivers in semi-arid watersheds. *Journal of Hydrology*, 390(1–2), 85–91. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.033>
- Agustin, M., & Prahasto, T. (2012). Penggunaan Jaringan Syaraf Tiruan Backpropagation Untuk Seleksi Penerimaan Mahasiswa Baru Pada Jurusan Teknik Komputer Di Politeknik Negeri Sriwijaya. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, 2(2), 089–097. <https://doi.org/10.21456/vol2iss2pp089-097>.
- Arminarahmah, N., & Munir, M. (2019). Implementasi Jaringan Saraf Tiruan untuk prakiraan hujan bulanan di kalimantan selatan. *Jtiulm*, 4, 35–42.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. (2016). Teknologi Budidaya Jagung (Zea Mays L). *Loka Pengkajian Teknologi Pertanian Sulawesi Barat*, 1–2.
- Badan Pusat Statistik. (2020). *Ht Tp Ag a Ka . B Ps . Id Ht Tp*.
- Bayu Priyanta, I., & Astawa, I. (2014). Penerapan Jaringan Saraf Tiruan Dalam Prakiraan Hujan Harian Di Daerah Kuta Selatan Provinsi Bali. *Jurnal Ilmu Komputer*, 7(1), 7–11.
- BPS, B. P. S. (2016). *Bojonegoro dalam angka 2016*. 1–180.
- Djoko, G. dkk. (2019). *Klimatologi Pertanian*.
- Fadli, D. M. (2022). Pemanfaatan Data Satelit Terhadap Prediksi Curah Hujan. *Jurnal Konstruksi*, 20(1), 194–201. <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.20-1.1107>
- Giancoli, D. C. (n.d.). *Douglas giancoli*.
- Insani, N. H. (2015). Peramalan Curah Hujan Dengan Menggunakan Metode Arima Box-Jenkins Sebagai Pendukung Kalender Tanam Padi Di Kabupaten Bojonegoro. *Tugas Akhir Program Studi Diploma III Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 1–131.
- Joseph, A. (2016). Available online [www.jsaer.com](http://www.jsaer.com) *Journal of Scientific and Engineering Research*, 2016, 3 ( 1 ): 51-54 *Physics of Rainfall. June*, 1–9.
- Kusumadewi, S. (2003). *Artificial Intelligence (Teknik dan Aplikasinya) (Edisi Pertama)*. Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu,.
- Loupatty, S. S. (2015). Penerapan Jaringan Saraf Tiruan Untuk Prediksi Biaya

- Pelayanan Rumah Sakit Pada Pasien Peserta BPJS Di Rumah Sakit Jiwa Menur Surabaya.
- Manalu, M. T. P. (2016). Jaringan Saraf Tiruan untuk Memprediksi Curah Hujan Sumatera Utara dengan Metode Back Propagation (Studi Kasus : BMKG Medan). *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, 3(1), 35–40.
- Muhammad, I., Wijaya, M., & Yudi, A. (2005). Analisis Terhadap Korelasi Antar Jumlah Curah Hujan Dan Temperatur Udara. *Penelitian Sains* (pp. 35–41).
- Mu'min, M. S., Pury, A. Y., & Bagas, M. R. (2016). Identifikasi pengembangan industri tembakau di jawa timur: pendekatan model dinamis dan penerapan the triple layered business model canvas. *Seminar Nasional Program Studi Agribisnis*, 575–591.
- Nuraini, T. A., Nuryanto, D. E., Komalasari, K. E., Satyaningsih, R., Fajariana, Y., Anggraeni, R., & Sopaheluwakan, A. (2019). PENGEMBANGAN MODEL HyBMG 2.07 UNTUK PREDIKSI IKLIM DI INDONESIA DENGAN MENGGUNAKAN DATA TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION (TRMM). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 20(2), 101. <https://doi.org/10.31172/jmg.v20i2.610>
- Nurfadly, A. (2019). Prediksi Curah Hujan Dengan Metode Backpropagation Dan Regresi Linear Dalam Penentuan Jadwal Tanam Padi. *Inspiration: Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 9(2), 127. <https://doi.org/10.35585/inspir.v9i2.2515>
- Oktaviani, M., & Saptutyningih, E. (2018). Pengaruh Gender dan Faktor-Faktor Lain Terhadap Willingness to Pay Petani untuk Adaptasi Dampak Perubahan Iklim di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. In *Politik pembangunan pertanian menghadapi perubahan iklim* (pp. 122–129).
- Paida. (2011). *Deteksi Perubahan Pola Curah Hujan Kota Makassar*. 46.
- Prasetyo, C. (2021). Bab 1: Pendahuluan. *Profil Kesehatan Kab.Semarang*, 41, 1–9.
- Prediktor, D., Nino, S. S. T., Tresnawati, R., Nuraini, T. A., Hanggoro, W., Bmkg, P., Curah, P., & Bulanan, H. (2010). *Menggunakan Metode Kalman Filter*. 11, 106–115.
- Rahardjo, T. P. (2017). Pengaruh Jarak Tanam dan Tinggi Rendahnya Terhadap Kuantitas dan Kualitas Produksi Tembakau Kasturi. *Agrinika*, 1(1), 63–75.
- Rasovan, A. H. M. (2019). Scanned by CamScanner 连发 阩. *International Journal of Physiology*, 6(1).
- Rivai, Deas, A. (2015). Aplikasi Prekiraan Cuaca Menggunakan Jaringan Saraf

- Tiruan. *Dinamik-Jurnal Teknologi Informasi*, 7(2), 17–75.
- Salsabila, A., & Nugraheni, I. L. (2020). Pengantar Hidrologi. *Pengantar Hidrologi*, 134. [http://repository.lppm.unila.ac.id/26780/1/PENGANTAR\\_HIDROLOGI.pdf](http://repository.lppm.unila.ac.id/26780/1/PENGANTAR_HIDROLOGI.pdf)
- Sapanta, M. D. (2018). Backpropagation Pada Studi Peramalan Beban Menggunakan Metode Artificial Neural Network. *Skripsi Jurusan Teknik Elektro Universitas Islam Indonesia*.
- SUCI, K. W. (2017). Kalender Tanam Padi Di Kabupaten Bojonegoro Menggunakan Metode Arima , Support Vector Regression Dan Genetic Algorithm-Support Vector Regression. *Skripsi*, 1–107.
- Swarinoto, Y. S., & Husain, H. (2012). ESTIMASI CURAH HUJAN HARIAN DENGAN METODE AUTO ESTIMATOR (Kasus Jayapura dan sekitarnya). *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 13(1), 53–61. <https://doi.org/10.31172/jmg.v13i1.118>
- Tejpal, S. C. (2006). Back-propagation Neural Net - CodeProject. Posted 27 Mar 2006. <https://www.codeproject.com/Articles/13582/Back-propagation-Neural-Network>.
- Yeli, S., & Elza, S. (2019). Penggunaan Prakiraan Musim untuk Pertanian di Indonesia: Status Terkini dan Tantangan Kedepan. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(1), 33–48. <http://124.81.126.59/handle/123456789/8174>
- Yudhi Andrian, E. N. (2014). *Prediksi Curah Hujan Di Kota Medan Menggunakan Metode Backpropagation Neural Networ | Andrian | Seminar Nasional Informatika (SNIf)*. <http://e-journal.potensi-utama.ac.id/ojs/index.php/SNIf/article/view/216>
- Zhu, X., & Wang, X. (2020). Experimental Study of a Rotary Valve Multi-Bed Rapid Cycle Pressure Swing Adsorption Process Based Medical Oxygen Concentrator. *Adsorption*, 26(8), 1267–1274. <https://doi.org/10.1007/S10450-020-00240-5>

# LAMPIRAN

**LAMPIRAN 1**  
**Data Bulanan Suhu, Kecepatan Angin dan Arah Angin Kabupaten**  
**Bojonegoro Tahun 2010-2022**

PARA METE R	YE AR	JA N	FE B	M A R	A P R	M A Y	JU N	JU L	A G U	SE P	O K T	N O V	D E S	A G U S
TS	2010	25.09	25.51	25.75	25.38	25.19	24.34	24.16	24.78	25.92	25.41	25.75	24.45	25.14
TS	2011	23.83	24.11	24.43	24.44	24.33	23.12	24.24	25.89	27.83	29.81	26.88	25.61	25.36
TS	2012	24.12	24.79	24.21	25.12	24.27	23.91	24.43	25.84	28.59	30.2	29.27	26.49	25.94
TS	2013	24.46	25.25	25.11	25.18	25.12	24.46	23.06	23.27	26.29	29.74	28.52	25.28	25.46
TS	2014	24.15	24.56	25.41	25.19	25.2	24.56	24.42	25.96	27.78	30.08	29.42	25.44	26.01
TS	2015	24.52	24.81	24.73	25.07	24.08	23.53	24.74	26.22	28.18	30.2	30.04	27.21	26.11
TS	2016	26.74	25.35	25.82	25.8	25.68	24.83	24.64	24.43	26.13	25.36	25.22	24.54	25.38
TS	2017	24.53	24.43	25.14	25.07	24.57	24.03	23.8	25.48	28.09	29.28	26.68	24.95	25.5
TS	2018	24.23	24.38	25.08	25.22	24.64	24.76	24.97	26.28	28.61	30.42	28.24	25.34	26.01
TS	2019	25.09	25.31	24.85	25.5	24.54	24.13	25.15	26.53	27.92	30.16	31.36	28.98	26.63
TS	2020	26.31	25.39	25.54	25.73	25.3	24.1	23.67	25.89	28.27	28.39	26.86	24.72	25.85
TS	2021	24.51	24.2	24.77	24.96	25.3	25.08	24.22	26.62	27.44	28.71	26.27	25.18	25.61
TS	2022	24.51	24.65	24.99	25.39	25.22	24.2	23.52	24.8	27.44	25.3	24.95	24.87	24.99
WD10 M	2010	261.1	231.9	128.5	201.9	117.9	125.5	128.6	131	122.5	136.3	112.6	272.8	140.6
WD10 M	2011	289.6	273.6	253.9	174.5	137.9	132.1	130.2	136.8	144.8	142.8	127.7	223	159.7
WD10 M	2012	282.8	209.7	266.1	117.9	127.4	129.9	138.3	140.3	149.2	145.2	141.3	234.1	148.5
WD10 M	2013	262.7	279.6	216.5	114.3	108.1	99.7	129.6	135.9	146.3	155	170.7	197.2	155.3
WD10 M	2014	259.9	272.9	126.5	158.9	113.6	125.7	138.3	133.3	141	143.3	142.2	219	148.1
WD10 M	2015	249.3	216.8	262.3	68.4	124.8	132.3	129.5	136.2	138	131.3	141.2	214.9	142.4
WD10 M	2016	201.4	220.4	172.7	96.9	120.5	116.6	119.9	126.3	120.5	117.4	139.7	251.6	135.6
WD10 M	2017	270	261.6	240.5	131.7	129.1	124.8	135.7	137.3	137.4	153.1	164.6	242.6	153.6

WD10 M	201 8	26 5.5	24 5.4	20 5.1	11 6.6	12 5.1	13 0.6	13 8.2	14 4.9	14 2.2	14 5.9	15 3.5	20 7	15 2
WD10 M	201 9	27 4.1	17 8.3	23 4.2	12 9.7	13 1	13 3.8	13 3.1	13 5.1	13 3.9	13 9.7	14 8.8	14 3.1	14 2
WD10 M	202 0	24 4.2	25 3.8	27 8.2	11 0.9	12 4.5	12 6.4	13 1.1	13 1.3	13 7.8	13 4	13 8.5	24 7.2	14 2.7
WD10 M	202 1	24 7.7	27 7.1	25 6.8	13 2.1	11 9.6	11 2.3	12 6.3	13 3.3	13 2.5	14 8.7	15 9.9	23 4.8	14 9.4
WD10 M	202 2	25 1.7	28 4	23 2.8	12 5.8	90. 9	12 0.7	12 7.1	13 3.3	13 9	17 1.4	14 8.2	22 3.5	15 1.8
WS10 M	201 0	2.3 5	1.5 8	1.6 6	1.5	2.1 9	2.5 6	2.8 4	3.0 2	3.0 2.5	2.3 1	1.9 3	2.4 1	2.2 4
WS10 M	201 1	2.9 9	2.8 1	2.1 6	1.9 3	2.3 5	3.0 1	3.0 9	3.5 4	4.0 8	3.2 5	2.0 3	2.1 9	2.7 9
WS10 M	201 2	3.0 4	1.9 4	2.8 5	2.0 7	2.8 4	2.9 8	3.8 8	4.0 3	3.7 4	3.4 7	2.6 2	1.8 8	2.9 4
WS10 M	201 3	2.9 7	2.1	2.1	1.8 7	1.7 5	1.9 7	3.2 7	3.4 3	3.8 2	3.3 1	2.4 5	2.5 1	2.6 3
WS10 M	201 4	2.9 1	2.3	1.4 4	1.5 7	2.4 5	2.8 9	3.1 4	3.6 8	3.7 6	3.7 2	2.6 9	1.9	2.7
WS10 M	201 5	2.4 5	1.8 1	1.8 2	1.8 1	2.6 2	3.1 5	3.2 5	3.7	3.9 7	3.6 3	2.6 3	2.0 4	2.7 4
WS10 M	201 6	1.9 3	1.9 1	1.4 1	1.9 5	2.0 1	2.0 6	2.3 6	2.7 6	2.3 9	2.1 9	1.8 4	2.6 5	2.1 2
WS10 M	201 7	2.2 9	2.4 1	1.6 9	1.8	2.8 3	2.7 9	3.4	3.8 2	3.6 7	3.3 4	2.1 5	2.3 1	2.7 1
WS10 M	201 8	2.4	2.2 7	1.6 6	2.3	2.9 8	3.0 9	3.6 3.6	3.7	3.6 7	3.5 8	2.4	2.2 4	2.8 2
WS10 M	201 9	2.2 7	1.6	1.9 9	2.0 5	2.9 9	3.2	3.6 8	4.0 1	3.9 8	3.6 5	3.0 3	1.5 8	2.8 4
WS10 M	202 0	2.2	1.8 8	1.8 8	1.9 1	2.3 5	2.9 7	3.3 2	3.4 2	3.8 7	3.4 4	2.3 7	2.4 6	2.6 7
WS10 M	202 1	2.1 7	2.7 5	1.7 8	2.1 2	2.3	1.9 8	2.9 8	3.6 6	3.5 8	2.9 4	1.8 2	1.9 7	2.5
WS10 M	202 2	2.4 9	2.2 6	1.7 6	1.7 5	1.8 7	2.2 9	2.9 2	3.0 4	3.1 5	2.4 7	1.7 2	2.3 8	2.3 4

**Sumber:** NASA (NASA Earth Science Data Systems) melalui platform Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC).

## LAMPIRAN 2

### Source Code Algoritma Prediksi Curah Hujan di Kabupaten Bojonegoro menggunakan Matlab R2022b

```
% Load dataset (data dalam format CSV)
data = readmatrix('data_curah_hujan.csv'); % Kolom: [Tahun, Bulan, Suhu,
    Kelembapan, CurahHujan]
% Normalisasi data menggunakan Min-Max Scaling
inputData = data(:, 3:4); % Suhu dan Kelembapan sebagai input (kolom 3 dan 4)
targetData = data(:, 5); % Curah Hujan sebagai target (kolom 5)
inputDataNorm = (inputData - min(inputData)) ./ (max(inputData) -
    min(inputData));
targetDataNorm = (targetData - min(targetData)) ./ (max(targetData) -
    min(targetData));
% Bagi data: 70% latih, 15% validasi, 15% uji
trainRatio = 0.7;
valRatio = 0.15;
testRatio = 0.15;
[trainInd, valInd, testInd] = dividerand(size(inputData, 1), trainRatio, valRatio,
    testRatio);
% Membagi data menjadi training, validation, dan test set
X_train = inputDataNorm(trainInd, :);
y_train = targetDataNorm(trainInd, :);
X_val = inputDataNorm(valInd, :);
y_val = targetDataNorm(valInd, :);
X_test = inputDataNorm(testInd, :);
y_test = targetDataNorm(testInd, :);
% Membangun model neural network
hiddenLayerSize = 10; % Jumlah neuron di hidden layer
net = fitnet(hiddenLayerSize);
% Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
net.divideFcn = 'divideind'; % Menggunakan indeks yang sudah ditentukan
```

```

net.divideParam.trainInd = trainInd;
net.divideParam.valInd = valInd;
net.divideParam.testInd = testInd;
% Training parameters
net.trainParam.epochs = 1000; % Maksimum epoch
net.trainParam.goal = 1e-5; % Target error
net.trainParam.max_fail = 10; % Maximum validation failures
net.trainParam.showWindow = true; % Menampilkan training window
% Train the Network
[net, tr] = train(net, inputDataNorm', targetDataNorm');
% Test the Network
predictions = net(inputDataNorm');
% Menghitung performa (MSE)
trainTargets = targetDataNorm(tr.trainInd);
valTargets = targetDataNorm(tr.valInd);
testTargets = targetDataNorm(tr.testInd);
trainPredictions = predictions(tr.trainInd);
valPredictions = predictions(tr.valInd);
testPredictions = predictions(tr.testInd);
trainMSE = mean((trainTargets - trainPredictions).^2);
valMSE = mean((valTargets - valPredictions).^2);
testMSE = mean((testTargets - testPredictions).^2);
fprintf('Train MSE: %f\n', trainMSE);
fprintf('Validation MSE: %f\n', valMSE);
fprintf('Test MSE: %f\n', testMSE);
% Denormalize predictions
predictionsDenorm = predictions * (max(targetData) - min(targetData)) +
    min(targetData);
% Plot hasil
figure;
plot(1:length(testTargets), testTargets*(max(targetData)-
    min(targetData))+min(targetData), 'b-', ...

```

```
1:length(testTargets), testPredictions*(max(targetData)-  
    min(targetData))+min(targetData), 'r--');  
legend('Actual', 'Predicted');  
title('Perbandingan Curah Hujan Aktual dan Prediksi');  
xlabel('Data Point');  
ylabel('Curah Hujan (mm)');  
grid on;
```

### LAMPIRAN 3

#### Data Uji, Data Latih dan Data Target untuk Penelitian

pola	x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7
1	0.7361	0.7766	0.531	0.6236	0.4945	0.179	0.1968
2	0.3819	0.367	0.6896	0.7084	0.2228	0.0399	0.0288
3	0.7278	0.4313	0.4412	0.1414	0.1691	0.0621	0.0044
4	0.8426	0.5139	0.699	0.4246	0.3126	0.4579	0.189
5	0.5488	0.5776	0.5416	0.4274	0.1358	0.2106	0.0715
6	0.7561	0.6707	0.6602	0.3986	0.27	0.0249	0.0028
7	0.4191	0.9457	0.3514	0.4496	0.5876	0.2755	0.3016
8	0.7068	0.5737	0.3986	0.4673	0.2068	0.179	0.0743
9	0.551	0.7395	0.5665	0.2583	0.0144	0.1402	0.0094
10	0.7594	0.7489	0.4335	0.5527	0.0626	0.0022	0.0028
11	0.546	0.7694	0.5588	0.607	0.5177	0.0942	0.0538
12	0.8664	1	0.5327	0.2112	0.1031	0.3503	0.031

x8	x9	x10	x11	x12	target
0.0621	0.235	0.4296	0.2262	0.4579	0.5654
0.0006	0.0061	0.036	0.4457	0.6469	0.592
0.0011	0.0033	0.0632	0.1225	0.3875	0.6336
0.01	0.0083	0.0127	0.2012	0.5887	0.3426
0.0105	0	0.0094	0.1358	0.6053	0.5133
0.0188	0.0006	0	0.2045	0.291	0.2894
0.1807	0.3243	0.5732	0.3492	0.5255	0.1547
0.0072	0.0277	0.1763	0.5116	0.5726	0.0538
0.0416	0.0067	0.0283	0.3492	0.4884	0.1696
0.0238	0.0399	0.0155	0.0477	0.2971	0.5
0.0549	0.0432	0.2367	0.3642	0.9457	0.6663
0.0333	0.1591	0.0793	0.6064	0.7772	0.4047

Data Uji, Data Latih dan Data Target untuk prediksi curah hujan