

**PREDIKSI PERTUMBUHAN AWAN CUMULONIMBUS PADA CITRA  
HIMAWARI IR *ENHANCED* MENGGUNAKAN *DEEP ECHO STATE*  
*NETWORK* (DEEPESN)**

**SKRIPSI**



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

Disusun Oleh  
**MUHAMMAD FAHRUR ROZI**  
**H02216010**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL  
SURABAYA**

**2019**

**PREDIKSI PERTUMBUHAN AWAN CUMULONIMBUS PADA CITRA  
HIMAWARI IR *ENHANCED* MENGGUNAKAN *DEEP ECHO STATE*  
*NETWORK* (DEEPESN)**

**SKRIPSI**

Diajukan guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh  
gelar Sarjana Matematika (S.Mat) pada Program Studi Matematika



UIN SUNAN AMPEL  
S U R A B A Y A

Disusun oleh  
**MUHAMMAD FAHRUR ROZI**  
**H02216010**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA**  
**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL**  
**SURABAYA**

**2019**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Muhammad Fahrur Rozi

NIM : H02216010

Program Studi : Matematika

Angkatan : 2016

Menyatakan bahwa saya tidak melakukan plagiat dalam penulisan skripsi saya yang berjudul "Prediksi Pertumbuhan Awan Cumulonimbus pada Citra Himawari IR *Enhanced* Menggunakan *Deep Echo State Network* (DeepESN)". Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan tindakan plagiat, maka saya bersedia menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian pernyataan keaslian ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 23 Desember 2019

Yang menyatakan,



Muhammad Fahrur Rozi

NIM. H02216010

## LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

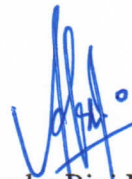
Skripsi oleh

Nama : Muhammad Fahrur Rozi  
NIM : H02216010  
Judul Skripsi : Prediksi Pertumbuhan Awan Cumulonimbus pada Citra  
Himawari IR *Enhanced* Menggunakan *Deep Echo State*  
*Network* (DeepESN)

telah diperiksa dan disetujui untuk diujikan.

Surabaya, 23 Desember 2019

Pembimbing



---

Dian Candra Rini Novitasari, M.Kom  
NIP. 198511242014032001



## PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI

Skripsi oleh

Nama : Muhammad Fahrur Rozi  
NIM : H02216010  
Judul Skripsi : Prediksi Pertumbuhan Awan Cumulonimbus pada Citra Himawari IR *Enhanced* Menggunakan *Deep Echo State Network* (DeepESN)

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
pada tanggal Desember 2019

Mengesahkan,  
Tim Penguji

### Penguji I

Dian Candra Rini Novitasari, M.Kom  
NIP. 198511242014032001

## Penguji II

Nurissaidah Ulinnuha, M.Kom  
NIP. 199011022014032004

### Penguji III

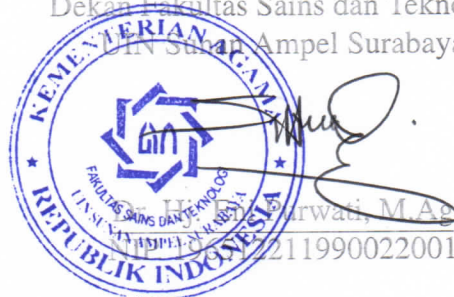
Aris Fanani, M.Kom  
NIP. 198701272014031002

#### Penguji IV

Wika Dianita Utami, M.Sc  
NIP. 199206101018012003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi  
UN Surab Ampel Surabaya





**KEMENTERIAN AGAMA**  
**UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN AMPEL SURABAYA**  
**PERPUSTAKAAN**

Jl. Jend. A. Yani 117 Surabaya 60237 Telp. 031-8431972 Fax.031-8413300  
E-Mail: perpus@uinsby.ac.id

LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI  
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika UIN Sunan Ampel Surabaya, yang bertanda tangan di bawah ini, saya:

Nama : MUHAMMAD FAHRUR ROZI  
NIM : H02216010  
Fakultas/Jurusan : SAINS / MATEMATIKA  
E-mail address : m.f.rozi.mfr@gmail.com

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif atas karya ilmiah :

☒ Skripsi ☐ Tesis ☐ Desertasi ☐ Lain-lain (.....)  
yang berjudul :

PREDIKSI PERTUMBUHAN AWAN COMULONIMBUS PADA CITRA HIMAWARI IR ENHANCED

MENGUNAKAN DEEP ECHO STATE NETWORK (DEEPESN)

beserta perangkat yang diperlukan (bila ada). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya berhak menyimpan, mengalih-media/format-kan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain secara **fulltext** untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan atau penerbit yang bersangkutan.

Saya bersedia untuk menanggung secara pribadi, tanpa melibatkan pihak Perpustakaan UIN Sunan Ampel Surabaya, segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah saya ini.

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 30 DESEMBER 2019

Penulis

( MUHAMMAD FAHRUR ROZI )  
nama terang dan tanda tangan

## ABSTRAK

## Prediksi Pertumbuhan Awan Cumulonimbus pada Citra Himawari IR

### Enhanced Menggunakan Deep Echo State Network (DeepESN)

Awan Cumulonimbus (Cb) merupakan awan yang memiliki suhu sangat rendah. Suhu yang dimiliki oleh awan Cb dapat mencapai  $-100^{\circ}\text{C}$ . Suhu dalam awan Cb memicu turunnya sebuah hujan es. Aktivitas *updraft*, dan *downdraft* memicu munculnya badai petir yang ada dalam sebuah awan Cb. Dibutuhkan sebuah pengamatan awan untuk memberi peringatan ketika tumbuh awan dengan suhu yang cukup rendah. Citra Himawari IR *Enhanced* merupakan citra satelit yang menampilkan suhu awan yang sedang diamati. Sebagai upaya untuk mengetahui kondisi awan selanjutnya diperlukan sebuah sistem prediksi. Salah satu sistem prediksi yang diusulkan yaitu *Deep Echo State Network* (DeepESN). Metode DeepESN merupakan salah satu metode yang dapat mempelajari pola data berdasarkan waktu. DeepESN yang termasuk dalam Deep Learning, memiliki kemampuan untuk mempelajari sebuah citra tanpa melalui proses ekstraksi fitur. Sebagai tolak ukur sistem yang dibuat DeepESN baik digunakan evaluasi kemiripan citra *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR). Setelah dilakukan beberapa percobaan didapatkan model DeepESN terbaik dengan *learning rate* 0.5, jumlah node 120, dan 150 lapisan *reservoir*. Pada percobaan tersebut menghasilkan hasil prediksi dengan rata-rata tingkat kemiripan citra sebesar 22.994 dB. Hasil terbaik dengan DeepESN untuk memprediksi satu citra dapat mencapai 51.2006 dB.

**Kata kunci:** Cumulonimbus (Cb), Citra Himawari IR *Enhanced*, Deep Echo State Network (DeepESN), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

# ABSTRACT

# Growth Prediction for Cumulonimbus Clouds in Himawari IR Enhanced Image Using the Deep Echo State Network (DeepESN)

Cumulonimbus clouds (Cb) are clouds that have very low temperatures. The temperature of the Cb cloud can reach  $-100^{\circ}C$ . The temperature in the Cb cloud triggers hail. The activity of *updraft* and *downdraft* triggered the appearance of a thunderstorm in a Cb cloud. A cloud observation is needed to warn when a cloud is growing at a low enough temperature. The Himawari IR *Enhanced* image is a satellite image that displays the temperature of the cloud being observed. In an effort to find out the next cloud condition, a prediction system is needed. One of the proposed prediction systems is *Deep Echo State Network* (DeepESN). DeepESN method is one method that can study data patterns based on time. DeepESN which is included in Deep Learning, has the ability to learn an image without going through the feature extraction process. As a system benchmark made by DeepESN, evaluate the similarity of the image using the *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) method. After several experiments, the best DeepESN model with *learning rate* 0.5, number of node 120, and 150 layers *reservoir* was obtained. In these experiments produce prediction results with an average image similarity level of 22.994 dB. The results of predictions with DeepESN to obtain an image that has a PSNR value of 51.2006 dB

**Keywords:** Cumulonimbus (Cb), Himawari IR Enhanced Image, Deep Echo State Network (DeepESN), Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING</b>	<b>ii</b>
<b>PENGESAHAN TIM PENGUJI SKRIPSI</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN</b>	<b>iv</b>
<b>MOTTO</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xi</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>xiii</b>
<b>I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Rumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Manfaat Penelitian	6
1.5. Batasan Masalah	7
1.6. Sistematika Penulisan	7
<b>II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>9</b>
2.1. Citra Digital	9
2.2. Satelit	11
2.3. Citra Satelit	13
2.3.1. Himawari-8 IR <i>Enhanced</i>	14
2.3.2. Himawari-8 <i>Natural Color</i>	14
2.3.3. Citra Himawari-8 WV <i>Enhanced</i>	15
2.3.4. Himawari-8 <i>Rainfall Potential</i> (RP)	16



2.3.5. Citra <i>Hotspot</i> MODIS . . . . .	17
2.3.6. Citra Himawari-8 <i>GeoHotspot</i> . . . . .	18
2.4. Awan . . . . .	19
2.5. <i>Recurrent Neural Networks</i> (RNNs) . . . . .	22
2.6. <i>Reservoir Computing</i> (RC) . . . . .	25
2.7. <i>Echo State Network</i> (ESN) . . . . .	27
2.8. <i>Deep Echo State Networks</i> (DeepESN) . . . . .	32
2.9. <i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i> (PSNR) . . . . .	34
<b>III METODE PENELITIAN . . . . .</b>	<b>36</b>
3.1. Data Penelitian . . . . .	36
3.2. Rancangan Penelitian . . . . .	36
<b>IV HASIL DAN PEMBAHASAN . . . . .</b>	<b>41</b>
4.1. <i>Preprocessing</i> Data . . . . .	41
4.2. Prediksi Menggunakan <i>Deep Echo State Network</i> (DeepESN) . . . .	47
<b>V PENUTUP . . . . .</b>	<b>66</b>
5.1. Simpulan . . . . .	66
5.2. Saran . . . . .	67
<b>DAFTAR PUSTAKA . . . . .</b>	<b>68</b>

## DAFTAR TABEL

4.1	Contoh Piksel Citra Ukuran $10 \times 10$ . . . . .	44
4.2	Piksel Ketetanggaan dari Nilai Tabel 4.1 Baris 2, dan Kolom 2 . . . .	45
4.3	Nilai Piksel Setelah diurutkan . . . . .	45
4.4	Nilai Piksel Citra Setelah Diberikan Median Filter . . . . .	45
4.5	Data Pada Matriks U . . . . .	46
4.6	Nilai Matriks Bobot Masukan ( $w_{in}$ ) . . . . .	48
4.7	Nilai Matriks $w_{l=1}$ . . . . .	50
4.8	Nilai Matriks $w_{l=2}$ . . . . .	50
4.9	Nilai Matriks $w_{l=99}$ . . . . .	51
4.10	Nilai Matriks $w_x$ Pada Lapisan 1 . . . . .	51
4.11	Nilai Matriks $w_x$ Pada Lapisan 2 . . . . .	52
4.12	Nilai Matriks $w_x$ Pada Lapisan 100 . . . . .	52
4.13	Nilai Matriks $w_\theta$ . . . . .	56
4.14	Hasil Rata Rata PSNR dari Beberapa Percobaan . . . . .	61
4.15	Sebaran Nilai PSNR pada Percobaan ke 5 . . . . .	63





# PENDAHULUAN

Negara Indonesia merupakan negara kepulauan. Jumlah pulau yang dimiliki Indonesia mencapai 17499 pulau. Pulau-pulau yang ada di Indonesia dipisahkan oleh lautan yang luas. Luas laut yang dimiliki oleh Indonesia lebih luas jika dibandingkan dengan luas daratan. Perbandingan laut dan daratan Indonesia yaitu 3:2. Luas lautan Indonesia membuat Indonesia dapat disebut dengan negara maritim. Luas laut Indonesia 3.25 juta  $km^2$ , sedangkan luas daratan Indonesia 2.01 juta  $km^2$ , sisanya 2.55 juta  $km^2$  sebagai Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE). Jika dilihat dari letak geografisnya, Indonesia terletak di daerah khatulistiwa. Letak Indonesia di daerah khatulistiwa menyebabkan Indonesia mendapatkan penyinaran matahari sepanjang tahun (Roza, 2019).

1

Awan cumulonimbus (Cb), merupakan awan yang memiliki pertumbuhan secara vertikal. Awan Cb memiliki kandungan uap air yang sangat tinggi. Aktivitas dalam awan Cb sering terjadi badai petir. Badai petir dalam sebuah awan Cb terbentuk karena proses *updraft*, dan *downdraft*. Proses *updraft* dan *downdraft* menimbulkan gesekan antar partikel yang naik dengan partikel yang turun. Gesekan kedua partikel menimbulkan petir yang terjadi dalam sebuah awan Cb. Kandungan dalam awan Cb memiliki suhu yang sangat rendah. Sebuah awan Cb dapat memiliki suhu  $-100^{\circ}\text{C}$ . Suhu dingin yang dimiliki oleh awan Cb menyebabkan uap air yang terkumpul berubah menjadi butiran es (Emiliani, 1992).

Kandungan dalam sebuah awan Cb menyebabkan gangguan pada beberapa aktivitas manusia. Badai petir yang terjadi dalam awan Cb mengharuskan pengalihan jalur penerbangan. Kandungan es pada awan Cb membahayakan pesawat karena butiran es dapat masuk dalam mesin pesawat. Selain itu suhu dingin awan Cb dapat membekukan mesin pesawat, sehingga pesawat tidak dapat berfungsi secara normal. Munculnya awan Cb harus diketahui seorang pilot sebelum melakukan penerbangan. Seorang pilot harus menghindari awan Cb dari jauh karena ukuran yang dimiliki awan Cb sangat tinggi dan lebar (PaskiPermana, Sepriando, & Pertiwi, 2017).

Bahaya awan Cb dapat mengganggu aktivitas manusia yang ada di daratan. Suhu udara yang tidak mampu mencairkan es menimbulkan terjadinya hujan es. Selain itu hujan yang dihasilkan awan Cb sangat lebat, hingga seringkali disertai badai dan angin kencang. Gangguan yang disebabkan oleh awan Cb, menjadikan manusia harus memperhitungkan pertumbuhan dari awan Cb. Pertumbuhan awan Cb digunakan untuk memperkirakan dan merencanakan aktivitas yang harus dilakukan sebelum tumbuhnya awan Cb. Perkiraan tumbuhnya awan Cb dapat

Sebagai bentuk antisipasi yaitu memperkirakan proses pertumbuhan awan Cb. Perkiraan pertumbuhan awan Cb dapat melihat dari penangkapan citra satelit. Salah satu citra satelit yang dapat menggambarkan keberadaan awan Cb yaitu citra Himawari-8 IR *Enhanced*. Citra IR *Enhanced* memberikan gambaran awan Cb dengan menunjukkan suhu titik puncak awan. Sebuah awan yang terbaca dengan suhu kurang dari  $-60^{\circ}\text{C}$  merupakan awan Cb. Suhu puncak awan yang melebihi suhu tersebut merupakan suhu yang dimiliki oleh jenis awan lainnya. Tidak menutup kemungkinan bahwa tumbuhnya awan Cb dikarenakan pertumbuhan awan yang lain. Proses pertumbuhan awan Cb dapat dilihat dengan menurunnya suhu awan hingga kurang dari  $-60^{\circ}\text{C}$ . Penurunan suhu sebuah awan dapat diprediksi untuk memperkirakan suhu awan di waktu mendatang (Efendi & Fachrurrozi, 2017).

[illegible]

Salah satu metode yang mempelajari pola dari waktu ke waktu yaitu *Echo State Network* (ESN). Metode ESN mempelajari pola di waktu sebelumnya untuk mempertimbangkan nilai keluaran pada waktu mendatang. Proses yang dimiliki oleh ESN seperti proses yang berjalan pada *Recurrent Neural Networks* (RNNs). Perbedaan dari RNN yaitu proses pelatihan yang dimiliki oleh ESN. Pelatihan RNN dilakukan untuk setiap lapisan, sedangkan pelatihan ESN hanya berlaku pada lapisan *readout*. Pelatihan ESN berdasarkan pada pengembangan dari proses *Reservoir Computing* (RC). Peningkatan kinerja ESN dikembangkan dengan melakukan beberapa modifikasi pada jaringan ESN (Ma et al., 2016).

[illegible]

Sebagai evaluasi dari hasil prediksi dibutuhkan sistem untuk mengenali kemiripan citra. *Peak signal-to-noise ratio* (PSNR) merupakan salah satu metode yang dapat mempelajari kemiripan antara 2 citra. PSNR dapat mengenali kemiripan menggunakan perhitungan eror pada setiap piksel citra. Penelitian sebelumnya menggunakan PSNR untuk melihat kualitas segmentasi citra plat kendaraan (PirahanSiah, Abdullah, & Sahran, 2010). Penerapan metode PSNR juga diterapkan untuk mengevaluasi kemiripan citra sebelum dan sesudah dilakukan pengolahan citra (Yao, Lin, Ong, & Lu, 2005). Penelitian ini menggunakan PSNR sebagai nilai evaluasi dari citra data sebenarnya dengan citra hasil prediksi.

[illegible]

## 1.2. Rumusan Masalah

1. Bagaimana cara melakukan prediksi pertumbuhan awan cumulonimbus menggunakan *Deep Echo State Network*?
2. Bagaimana tingkat keberhasilan suatu sistem *Deep Echo State Network* untuk melakukan prediksi terhadap pertumbuhan awan cumulonimbus?

1. Mengetahui cara melakukan prediksi pertumbuhan awan cumulonimbus menggunakan *Deep Echo State Network*.
2. Mengetahui tingkat keberhasilan suatu sistem *Deep Echo State Network* untuk melakukan prediksi terhadap pertumbuhan awan cumulonimbus.

1. Bagi Mahasiswa dan Peneliti lainnya

## 2. Bagi Masyarakat

[illegible]

1. Penelitian ini dilakukan menggunakan data berupa citra Himawari IR *Enhanced*.
2. Data yang digunakan merupakan data yang diambil setiap satu jam sekali.
3. Penelitian ini melakukan terbentuknya awan di daerah Kalimantan Selatan dan sekitarnya.

Sistematika penyusunan yang digunakan pada penulisan laporan kerja lapangan ini sebagai berikut.

Bab ini menjelaskan latar belakang penulis untuk melakukan penelitian. Selain itu bab ini juga menjelaskan bagaimana rumusan masalah dan tujuan penelitian. Penyelesaian yang diharapkan oleh seorang peneliti dapat memberi manfaat yang akan dijelaskan pada bagian manfaat penelitian.

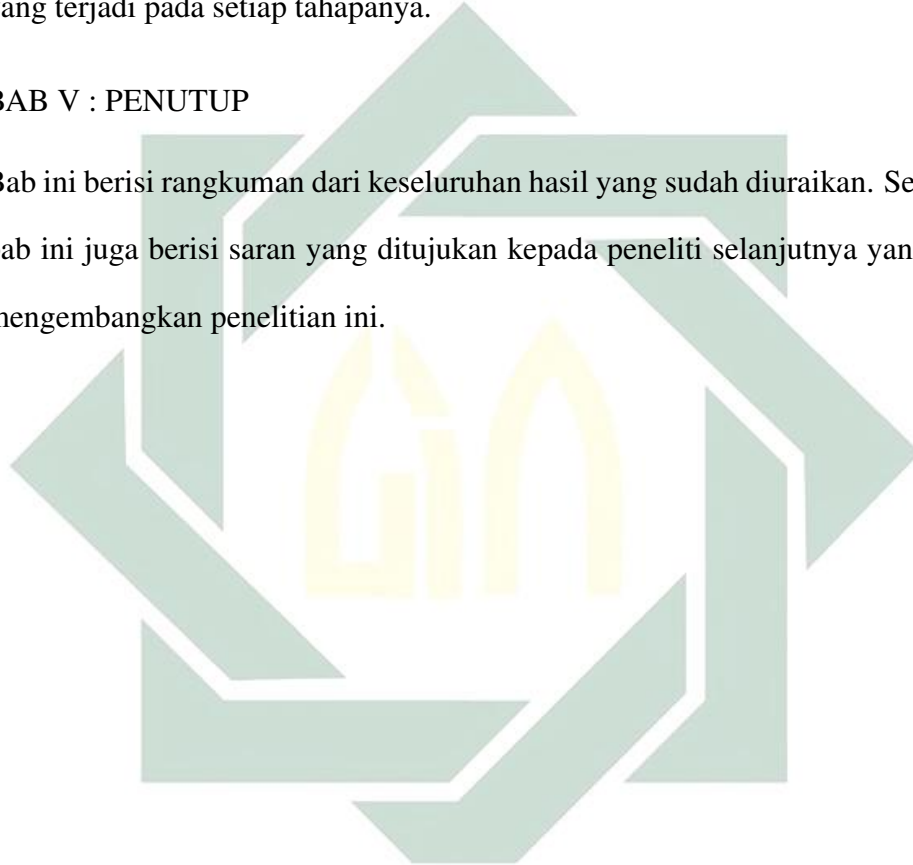
Bab ini berisikan tentang teori teori yang mendukung penyelesaian penelitian. Teori yang digunakan merupakan teori yang diambil dari penelitian sebelumnya. Kumpulan teori oleh peneliti sebelumnya dapat dijadikan sebagai dukungan untuk melakukan prediksi pertumbuhan awan cumulonimbus pada citra Himawari IR *Enhanced* menggunakan *Deep Echo State Network*.

Bab ini menjelaskan gambaran umum peneliti yang digunakan untuk menyelesaikan prediksi pertumbuhan awan cumulonimbus pada citra Himawari



Bab ini berisikan hasil penelitian yang sudah dilakukan peneliti. Selain itu pembahasan dari hasil hasil penelitian dijabarkan untuk menjelaskan proses yang terjadi pada setiap tahapannya.

Bab ini berisi rangkuman dari keseluruhan hasil yang sudah diuraikan. Selain itu bab ini juga berisi saran yang ditujukan kepada peneliti selanjutnya yang ingin mengembangkan penelitian ini.







dengan cira *grayscale*. Berbeda dengan citra biner, citra jenis ini memiliki interval nilai antara 0 sampai 255. Semakin tinggi nilai piksel yang dimiliki maka semakin terang cahaya yang ditangkap. Jenis terakhir yaitu citra RGB. Citra ini memiliki tiga matriks masing-masing matriks mewakili intensitas cahaya berwarna merah, hijau, dan biru. Citra jenis ini menghasilkan citra berwarna, bergantung pada kombinasi dari ketiga warna tersebut (Kadir & Susanto, 2013).

Melalui kemajuan teknologi sebuah citra dapat digunakan untuk mendapatkan berbagai macam informasi. Salah satu cara untuk mendapatkan informasi dari citra yaitu dengan melakukan pengolahan pada citra tersebut. Pengolahan citra digital merupakan pengolahan yang dilakukan menggunakan komputer atau sistem digital. Dilihat dari keluarannya, pengolahan citra digital dibagi menjadi tiga tingkatan yaitu tingkatan rendah (*low*), menengah (*middle*), tinggi (*high*). Pengolahan citra tingkat rendah merupakan pengolahan citra seperti pada tahap pra-pemrosesan citra. Beberapa pengolahan tingkat rendah yang sering dilakukan yaitu proses penghilangan *noise*, peningkatan atau penurunan kontras, dan penajaman gambar. Pengolahan tahap ini dilakukan dengan masukan, dan keluaran berupa citra (Putra, 2010). Pengolahan citra tingkat menengah dilakukan pada proses seperti segmentasi, deskripsi objek, dan klasifikasi objek pada citra. Pada pengolahan tingkat menengah proses yang dilakukan menggunakan masukan berupa citra, dengan keluaran berupa nilai ekstraksi. Beberapa contoh keluaran yang dapat dihasilkan yaitu berupa tepi, kontur, atau indentitas pada suatu citra. Sedangkan pengolahan tingkat tinggi merupakan pengolahan berupa analisa dari hasil pengolahan citra menengah (Putra, 2010).

Awalnya satelit merupakan nama yang digunakan untuk sebuah benda yang mengelilingi bumi. Setiap planet memiliki jumlah satelit berbeda-beda. Jumlah satelit yang mengelilingi bumi hanya satu yaitu bulan. Sedangkan jumlah satelit pada venus yaitu 4, dan planet merkurius 8 satelit. Planet bumi juga menjadi satelit terhadap benda langit lainnya yang lebih besar. Sebagai contoh bumi menjadi satelit matahari, dan mengelilingi matahari selama 365,25 hari. Menggunakan teknologi, dan pemikiran yang semakin maju, membuat sebuah ide meluncurkan satelit buatan untuk mengelilingi bumi. Pada tahun 1945 merupakan tahun pertama peluncuran satelit buatan pada orbit ekuator. Peluncuran satelit pertama kalinya dicetuskan oleh Arthur C Clarke (Dewi & Supianto, 2015).

### 1. *Low Earth Orbit* (LEO)

[illegible]



### 2.3. Citra Satelit

Selain dilihat dari kualitasnya pengambilan citra satelit juga memiliki proses penangkapan citra yang berbeda. Pengambilan citra satelit dapat menggunakan infra merah, pengelihatannya secara nyata (visibel), atau yang lainnya. Salah satu satelit yang menghasilkan berbagai macam citra keluaran yaitu satelit himawari. Satelit himawari merupakan satelit yang mengawasi wilayah Indonesia. Hasil pengolahan citra satelit yang dihasilkan oleh satelit himawari bermacam-macam (BMKG, 2019). Beberapa jenis citra yang dihasilkan oleh satelit himawari adalah sebagai berikut:

### 2.3.1. Himawari-8 IR *Enhanced*

**Gambar 2.1 Citra Himawari-8 IR *Enhanced***



### Gambar 2.2 Citra Himawari-8 *Natural Color*

Citra Himawari-8 WV *Enhanced* merupakan citra satelit himawari yang menggambarkan kelembaban atmosfer. Kelembaban atmosfer yang disajikan yaitu atmosfer tingkat menengah hingga atmosfer atas. Pengambilan citra WV diperoleh menggunakan gelombang 6.2 mikrometer. Hasil citra jenis ini dapat digunakan untuk mengamati kelembaban udara sebagai salah satu faktor dalam proses terbentuknya awan. Warna yang dihasilkan oleh citra WV yaitu antara warna coklat, dan warna biru. Warna coklat menunjukkan keadaan udara yang semakin kering, sedangkan warna biru menunjukkan keadaan udara semakin lembab. Kekurangan citra jenis ini adalah kondisi ketika udara sangat lembab, dan sangat

Citra Himawari-8 *Rainfall Potential* (RP) merupakan citra yang menggambarkan potensi turunya hujan. Citra RP memiliki tiga indeks. Indeks biru menunjukkan hujan dengan intensitas rendah, warna hijau untuk hujan dengan intensitas menengah, warna kuning untuk hujan lebat, dan merah untuk hujan dengan intensitas sangat tinggi. Citra RP didapatkan dengan melihat suhu puncak awan dengan curah hujan yang dihasilkan. Citra ini hanya melihat potensi turun hujan tanpa melihat kondisi pertumbuhan awan yang ada di daerah sekitarnya. Kondisi tersebut menjadikan citra RP kurang tepat jika digunakan untuk pengamatan kondisi awan di lingkungan yang diinginkan (BMKG, 2019). Contoh citra Himawari-8 *Rainfall Potential* (RP) disajikan pada Gambar 2.4.

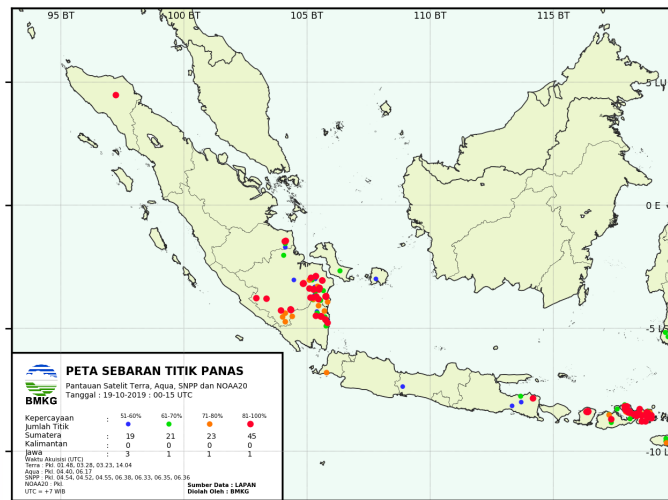


Citra Himawari-8 *Rainfall Potential* (RP) merupakan citra yang menggambarkan potensi turunya hujan. Citra RP memiliki tiga indeks. Indeks biru menunjukkan hujan dengan intensitas rendah, warna hijau untuk hujan dengan intensitas menengah, warna kuning untuk hujan lebat, dan merah untuk hujan dengan intensitas sangat tinggi. Citra RP didapatkan dengan melihat suhu puncak awan dengan curah hujan yang dihasilkan. Citra ini hanya melihat potensi turun hujan tanpa melihat kondisi pertumbuhan awan yang ada di daerah sekitarnya. Kondisi tersebut menjadikan citra RP kurang tepat jika digunakan untuk pengamatan kondisi awan di lingkungan yang diinginkan (BMKG, 2019). Contoh citra Himawari-8 *Rainfall Potential* (RP) disajikan pada Gambar 2.4.

Citra Himawari-8 *Rainfall Potential* (RP) merupakan citra yang menggambarkan potensi turunya hujan. Citra RP memiliki tiga indeks. Indeks biru menunjukkan hujan dengan intensitas rendah, warna hijau untuk hujan dengan intensitas menengah, warna kuning untuk hujan lebat, dan merah untuk hujan dengan intensitas sangat tinggi. Citra RP didapatkan dengan melihat suhu puncak awan dengan curah hujan yang dihasilkan. Citra ini hanya melihat potensi turun hujan tanpa melihat kondisi pertumbuhan awan yang ada di daerah sekitarnya. Kondisi tersebut menjadikan citra RP kurang tepat jika digunakan untuk pengamatan kondisi awan di lingkungan yang diinginkan (BMKG, 2019). Contoh citra Himawari-8 *Rainfall Potential* (RP) disajikan pada Gambar 2.4.



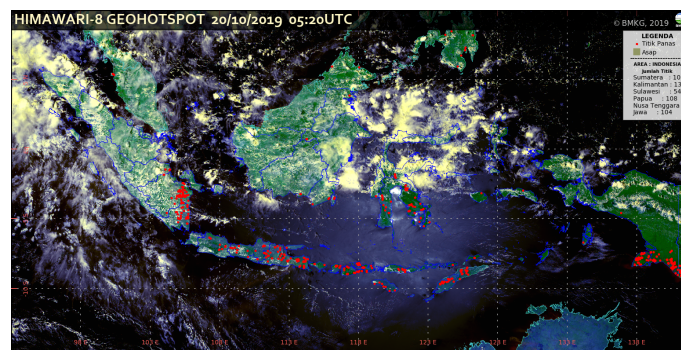




Gambar 2.5 Citra Hotspot MODIS

### 2.3.6. Citra Himawari-8 *GeoHotspot*

Citra Himawari-8 *GeoHotspot* merupakan citra satelit yang digunakan untuk mengamati potensi terjadinya kebakaran hutan. Potensi kebakaran dilihat dari anomali suhu yang terjadi di wilayah tertentu. Berbeda dengan citra modis, citra ini diambil dengan infra merah untuk *filtering* awan. Citra *GeoHotspot* juga dapat mengamati sebaran asap yang ditandai dengan warna coklat. Titik kebakaran ditandai dengan titik berwarna merah (BMKG, 2019). Sebagai contoh pengambilan citra Himawari-8 *GeoHotspot* ditunjukkan pada Gambar 2.6.

Gambar 2.6 Citra Himawari-8 *GeoHotspot*

## 2. Awan Cirrocumulus (CiCu)

Awan Cirrostratus memiliki bentuk yang halus, dan menutup seluruh permukaan langit. Bentuk dari awan ini seperti anyaman yang tidak teratur. Awan CiSt merupakan awan yang dapat menimbulkan efek halo jika berada di tempat dengan iklim tropis. Awan CiSt dapat memicu hujan gerimis disaat hari sedang panas (Massinai, 2005).

#### 4. Awan Alto Cumulus (ACu)

Awan Alto Cumulus (ACu) memiliki bentuk seperti bola kapas yang bergandengan. Awan ACu terjadi pada saat massa udara stabil, dan kering tertiup oleh angin kemudian berkumpul pada satu titik. Awan ACu merupakan salah satu awan yang dapat menimbulkan hujan (Nugraheny, 2015).

Awan Alto Stratus (ASt) merupakan awan dengan bentuk yang melebar. Lebar yang dimiliki oleh awan ini dapat menutupi seluruh bagian langit yang tampak dari bumi. Awan ASt terbentuk pada saat-saat tertentu. Terbentuknya awan ASt hanya terbentuk pada sore hingga matahari terbit. Awan ASt merupakan awan yang membawa potensi hujan ringan (Nugraheny, 2015).

Awan Stratocumulus (StCu) merupakan awan dengan ketinggian 1.5 hingga 2 kilometer di atas permukaan laut. Bentuk awan StCu seperti bola dengan

Keberadaan awan StCu dapat berpotensi hujan lokal (Nugraheny, 2015).

## 7. Awan Stratus (St)

(Nugraheny, 2015).

## 8. Awan Nimbo Stratus (NiSt)

lama (Nugraheny, 2015).

## 9. Awan Cumulus

pada musim kemarau atau saat langit dalam keadaan cerah (Nugraheny, 2015).

## 10. Awan Cumulonimbus (Cb)

Cb merupakan awan yang tumbuh secara vertikal. Awan Cb memiliki warna







$$L_t(o_t, y_t) = -y_t \log o_t \quad (2.5)$$

Kesalahan yang didapatkan dari *loss function* dapat dijadikan acuan untuk memperbaiki proses yang sedang berjalan. Perbaikan dilakukan dengan memperbarui nilai bobot di setiap tahapnya. Algoritma RNNs, melakukan perbaikan nilai bobot menggunakan proses *Back Propagation Through Time* (BPTT). Proses BPTT digunakan untuk menghitung eror yang saling berkaitan antara eror pada saat  $t$ ,  $t - 1$ , hingga  $t - n$ . Langkah pertama untuk memperbaiki bobot yaitu menghitung nilai  $\delta$  untuk setiap neuronnya. Pada neuron keluaran, nilai  $\delta^y$  dihitung menggunakan Persamaan 2.6. Sedangkan pada lapisan memori nilai  $\delta^s$  diperoleh menggunakan Persamaan 2.7. Kecuali pada tahap paling kanan RNNs, nilai  $\delta_{i,T+1}^s = 0$  (Gregor, Danihelka, Graves, Rezende, & Wierstra, 2015).

$$\delta_{i,t}^y = \frac{\partial L_t}{\partial y_{i,t}} \quad (2.6)$$

$$\delta_{i,t}^s = \left( \sum_{j=1}^K V_{i,j} \cdot \delta_{j,t}^y + \sum_{n=1}^H W_{i,n} \cdot \delta_{n,t+1}^h \right) \cdot f'(s_{i,t}) \quad (2.7)$$





Terdapat tiga lapisan utama yang berada pada jaringan *Reservoir Computing*. Lapisan yang pertama yaitu lapisan masukan. Lapisan masukan pada RC berupa vektor yang memiliki panjang sesuai dengan banyaknya nilai masukan yang digunakan. Lapisan kedua yaitu lapisan tersembunyi yang biasa disebut dengan *reservoir*. Pada lapisan ini terdiri dari beberapa neuron yang saling berkaitan satu dengan yang lain. Neuron satu dengan lainnya terhubung secara acak, dan ditentukan pada proses awal pembentukan jaringan. Lapisan pertama terhubung dengan lapisan kedua menggunakan bobot sebagai faktor pengali nilai masukan menuju lapisan *reservoir*. Hubungan yang dibentuk antara masukan, dan *reservoir* ditentukan di awal proses. Pada tahap selanjutnya, hubungan antara lapisan masukan, dan *reservoir* tidak mengalami pembelajaran (Van der Sande, Brunner, & Soriano, 2017). Selain memiliki hubungan dengan lapisan masukan, neuron pada *reservoir* juga terhubung dengan neuron lain yang ada dalam *reservoir*. Hubungan antar neuron dalam *reservoir* terjadi secara acak. Hubungan antar neuron berlangsung secara berulang, dan menggunakan konsep dari *Recurrent Neural Networks* (RNNs). Penggunaan konsep RNNs membuat *reservoir* mampu memiliki memori untuk menyimpan informasi masukan yang bersifat sekuen (Klibisz, 2016).

Lapisan terakhir pada RC yaitu lapisan keluaran. Lapisan keluaran merupakan sebuah vektor dengan ukuran sesuai dengan banyak variabel keluaran yang diinginkan. Diantara lapisan keluaran, dan *reservoir* dihubungkan dengan

## 2.7. Echo State Network (ESN)

Salah satu bentuk pengembangan dari jaringan ESN yaitu *Leaky Integrator ESN* (LI-ESN). Sebagai penggambaran dari jaringan LI-ESN disajikan pada

emetaan dari vektor masukan  $u(t)$  dengan  $w_{in}$  me

Rekomendasi ini diuji dengan RNN.

reservoir  $x(t)$ . Berdasarkan kinerja dari jaringan berulang RNN, nilai vektor  $x(t)$  dipengaruhi oleh setiap neuron yang ada di dalamnya. Sebagai pengaruh dari neuron dalam *reservoir* yaitu nilai bobot  $w_x$ . Setiap neuron dalam *reservoir* terhubung satu sama lain hingga memiliki keterkaitan sebanyak jumlah neuron  $N_r$ . Keterkaitan semua *neuron reservoir* mengakibatkan ukuran matriks bobot adalah  $N_r \times N_r$ , atau dinotasikan sebagai  $w_x \in \mathbb{R}^{N_r \times N_r}$ . Nilai setiap matriks *reservoir* ( $x(t)$ ) didapatkan menggunakan Persamaan 2.14 (Schaetti, Salomoni, &

Couturier, 2016).

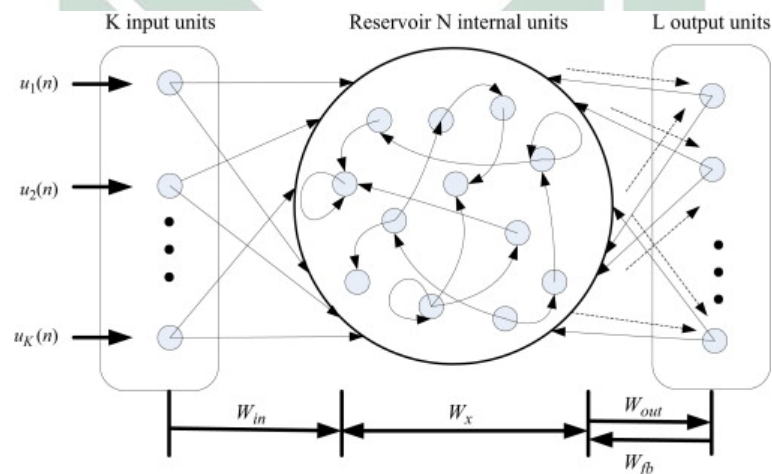
$$x(t) = (1 - \alpha)x(t - 1) + \alpha \tanh(w_{in}u(t) + w_{\theta}\theta + w_x x(t - 1)) \quad (2.14)$$

Melihat dari Persamaan 2.14, Nilai  $x(t)$  dipengaruhi oleh nilai reservoir di waktu sebelumnya atau  $x(t - 1)$ . Nilai pada lapisan *reservoir* dipengaruhi juga oleh  $\theta$  yang diperoleh dari distribusi normal. Distribusi normal  $\theta$  memiliki interval  $[-skala_{in}, skala_{in}]$ , dengan  $skala_{in}$  merupakan skala dari nilai masukan. Pada Persamaan 2.14, terdapat nilai parameter *leaky* ( $\alpha$ ) yang mempunyai interval  $[0, 1]$ . Berbeda dengan parameter yang lain, nilai matriks  $w_x$  merupakan nilai yang dibangkitkan secara acak menggunakan distribusi normal antara nol sampai satu. Pada tahap selanjutnya nilai  $w_x$  diperbaiki menggunakan Persamaan 2.15, dengan  $I$  merupakan matriks identitas (Schaetti, Salomon, & Couturier, 2016).

$$w_x = (1 - \alpha)I + \alpha w_x. \quad (2.15)$$

Setelah menyelesaikan perhitungan pada lapisan *reservoir*, dilanjutkan menghitung keluaran pada lapisan *readout*. Nilai keluaran ( $y(t)$ ) merupakan sebuah vektor yang memiliki panjang  $N_y$ . Penghubung antara neuron dalam *reservoir*, dan lapisan *readout* adalah bobot keluaran ( $w_{out}$ ). Setiap neuron dalam *reservoir* terhubung tepat satu pada lapisan keluaran. Keterhubungan antara *reservoir*, dan keluaran menghasilkan ukuran matriks bobot  $w_{out}$  yaitu  $N_y \times N_r$ , atau dapat dinotasikan dengan  $w_{out} \in \mathbb{R}^{N_y \times N_r}$ . Nilai pada lapisan *readout* didapatkan dengan menggunakan Persamaan 2.16 (Koryakin & Butz, 2012).

$$y(t) = w_{out}x(t) + \theta_{out} \quad (2.16)$$

$$x(t) = (1 - \alpha)x(t-1) + \alpha \tanh(w_{in}u(t) + \theta + w_x x(t-1) + w_{fb}y(t-1)) \quad (2.17)$$


Proses selanjutnya yaitu proses pembelajaran yang terjadi pada matriks  $w_{out}$ . Terdapat dua cara untuk memperbaiki nilai bobot selama proses pelatihan.



$$E(w_{out}) = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |y(t) - Y(t)|^2 \quad (2.18)$$

$$w_{out} = (X' \times X)^{-1} X' \times Y \quad (2.19)$$

$$\Delta w = \eta(y(t) - Y(t))x(t) \quad (2.20)$$





### 2.9. Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)

*Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR) merupakan salah satu metode untuk melihat kemiripan citra. Nilai kemiripan disajikan dengan satuan *decibel* (db). Perhitungan kemiripan citra dilakukan dengan menghitung selisih error pada tiap pikselnya. Metode PSNR menggunakan *Mean Square Error* (MSE) sebagai metode penghitungan error. Semakin kecil selisih error dari kedua citra yang dibandingkan maka semakin besar nilai kemiripan dua citra tersebut. Langkah awal untuk menghitung nilai PSNR yaitu dengan menghitung nilai MSE. Perhitungan error MSE ditunjukkan pada Persamaan 2.24.  $h_{i,j}$  nilai pada matriks citra asli pada baris ke- $i$ , dan kolom ke- $j$ . Sedangkan  $g_{i,j}$  merupakan nilai pada matriks citra hasil prediksi pada baris ke- $i$ , dan kolom ke- $j$ . Nilai  $M$ , dan  $N$  menunjukkan ukuran citra.  $M$  menunjukkan banyaknya baris pada matriks citra, dan  $N$  menunjukkan banyaknya kolom (Wolf & Pinson, 2009) pada matriks citra.

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (h_{i,j} - g_{i,j})^2 \quad (2.24)$$

Nilai MSE yang sudah didapatkan selanjutnya menjadi nilai masukan untuk menghitung nilai PSNR. Dengan nilai  $C_{max}$  merupakan nilai piksel maksimal pada



## METODE PENELITIAN

Data yang digunakan merupakan data yang diambil dari satelit. Data satelit yang digunakan berupa citra yang diambil dari satelit. Citra satelit diambil dari satelit himawari yang mengawasi wilayah Indonesia. Pada proses selanjutnya mengambil citra yang difokuskan pada daerah tertentu saja. Pengambilan citra satelit dilakukan setiap satu jam sekali. Pada penelitian ini data satelit diambil dengan durasi 11 bulan, yang dimulai dari tanggal 1 Januari 2019 sampai 30 November 2019. Pengambilan jangka waktu 11 bulan ditujukan untuk menyeimbangkan data antara data pada musim hujan dengan data musim kemarau. Selain pengambilan waktu tersebut ditujukan untuk meningkatkan kinerja sistem dalam pengenalan dua pola yang berbeda. Data yang digunakan berupa citra RGB. Nilai piksel dalam citra menunjukkan suhu yang dimiliki sebuah awan. Awan dengan suhu yang rendah ditandai dengan warna yang semakin merah, sedangkan awan dengan suhu tinggi memiliki warna biru. Piksel akan bernilai 0 atau hitam jika tidak ada awan di daerah yang diamati. Nilai suhu terendah yang dapat dibaca dalam citra yaitu  $-100^{\circ}\text{C}$ , dan suhu maksimal  $60^{\circ}\text{C}$ . Setiap suhu yang dibaca dikonversi dalam nilai piksel RGB.

Rancangan penelitian ini disajikan dalam diagram alir pada Gambar 3.1.









Hasil prediksi dimasukkan kedalam sistem evaluasi untuk mendapatkan nilai kesamaan citra antara citra pada data asli dengan citra hasil prediksi. Proses evaluasi menggunakan PSNR diawali dengan menghitung nilai MSE dari kedua citra menggunakan Persamaan 2.24. Selanjutnya nilai MSE dimasukkan pada perhitungan PSNR sebagai nilai indeks keberhasilan dalam memprediksi pertumbuhan awan saat satu jam kedepan. Perhitungan PSNR dihitung menggunakan Persamaan 2.25. untuk melihat struktur DeepESN yang paling optimal dilihat dari nilai PSNR yang paling tinggi. Semakin tinggi nilai PSNR yang dihasilkan maka citra prediksi semakin mendekati citra pada data aslinya.

## BAB IV

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. *Preprocessing* Data

Penelitian ini menggunakan data dari tanggal 1 Januari 2019 sampai dengan 30 November 2019. Data yang digunakan merupakan data yang diambil setiap satu jam sekali. Total jumlah data yang digunakan yaitu sebanyak 8014 data. Sebagai contoh data yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.1. Contoh data yang ditampilkan merupakan kondisi awan pada tanggal 1 Mei 2019 jam 15.00 WIB. Data yang digunakan merupakan citra satelit himawari yang mengawasi Indonesia wilayah dua. Pengamatan wilayah dua meliputi daerah Sumatra, Jawa, Nusa Tenggara, dan Kalimantan. Citra himawari yang digunakan merupakan himawari IR *Enhanced*. Citra IR *Enhanced* merupakan citra yang mengamati suhu puncak awan. Pada citra himawari membaca suhu awan dari  $-100^{\circ}C$  hingga  $60^{\circ}C$ . Awan cb terbaca melalui citra himawari karena ketinggian awan cb yang menjulang hingga melewati ketinggian dari awan tinggi. Selain itu, suhu yang dimiliki awan cb lebih rendah jika dibandingkan dengan suhu awan tinggi. Pada penelitian ini pembacaan awan cb hanya untuk awan cb yang memiliki ketinggian lebih dari awan tinggi dan memiliki suhu dibawah  $-60^{\circ}$ . Keberadaan awan cb dengan suhu dibawah  $-60^{\circ}C$  ditunjukkan warna kemerahan hingga merah pekat. Semakin pekat warna merah yang ditunjukkan pada citra himawari, maka semakin dingin dan semakin berbahaya bagi aktivitas penerbangan.



Data yang sudah didapatkan kemudian dilakukan pemotongan untuk mengamati suatu daerah tertentu. Penelitian ini memotong citra himawari pada wilayah Kalimantan Selatan dan sekitarnya. Pengambilan wilayah Kalimantan Selatan dikarenakan wilayah kalimantan berada disekitar wilayah katulistiwa.



Proses selanjutnya yaitu mengambil lapisan merah pada citra. Pengambilan citra merah dikarenakan kemunculan awan cb ditandai dengan meningkatnya intensitas warna merah pada citra. Pengambilan lapisan merah dilakukan untuk setiap data setelah dilakukan pemotongan citra. Citra pengambilan lapisan merah dari Gambar 4.2, ditunjukkan pada Gambar 4.3.

Proses selanjutnya yaitu mengambil lapisan merah pada citra RGB. Pengambilan citra merah dikarenakan kemunculan awan cb ditandai dengan meningkatnya intensitas warna merah pada citra. Pengambilan lapisan merah dilakukan untuk setiap data setelah dilakukan pemotongan citra. Contoh pengambilan lapisan merah dari Gambar 4.2, ditunjukkan pada Gambar 4.3. Hasil pengambilan lapisan merah menunjukkan semakin tinggi intensitas warna merah maka semakin putih warna yang ditampilkan. Semakin kecil intensitas merah pada citra RGB maka semakin hitam warna yang ditampilkan pada citra merah.



Tabel 4.2 Piksel Ketetanggaan dari Nilai Tabel 4.1 Baris 2, dan Kolom 2

0	67	67	0	67	67	0	0	0
---	----	----	---	----	----	---	---	---

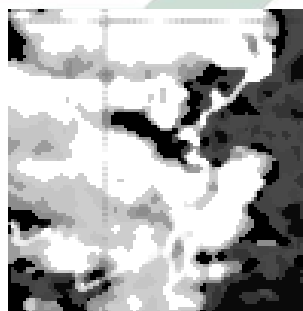
Tabel 4.3 Nilai Piksel Setelah diurutkan

0	0	0	0	0	67	67	67	67
---	---	---	---	---	----	----	----	----

Nilai tengah yang diperoleh yaitu 0, maka nilai 0 menggantikan nilai piksel 67 pada baris ke 2 kolom ke 2. Proses perbaikan piksel tersebut dilakukan untuk semua piksel. Setelah diberikan perbaikan piksel maka didapatkan nilai piksel baru seperti pada Tabel 4.4. Setelah diberikan penghilangan *noise* menggunakan *noise* didapatkan citra seperti pada Gambar 4.4.

Tabel 4.4 Nilai Piksel Citra Setelah Diberikan Median Filter

0	0	67	52	52	52	52	52	52	0
0	0	67	67	52	52	52	52	52	10
0	67	67	72	72	72	52	52	52	0
0	140	140	140	140	140	72	67	0	0
156	197	156	156	140	140	140	0	0	0
205	205	197	156	140	140	140	0	0	0
197	197	156	156	140	140	67	0	0	0
140	140	140	72	67	67	67	52	52	10
0	72	67	52	67	67	67	52	52	10
0	0	52	52	52	52	10	10	10	0

Gambar 4.4 Contoh Hasil Penghilangan *Noise* Menggunakan Median Filter

Setelah semua citra diperbaiki menggunakan median filter citra dirubah menjadi satu vektor kolom sebagai masukan pada proses prediksi. Jumlah piksel yang dimiliki data yaitu  $50 \times 50$  piksel, sehingga didapatkan satu data mempunyai

**Tabel 4.5 Data Pada Matriks U**

[illegible]

Prediksi pertumbuhan awan dilakukan untuk melihat kondisi awan satu jam kedepan. Proses prediksi menggunakan metode DeepESN. Prediksi menggunakan DeepESN diawali dengan proses pelatihan DeepESN. Pelatihan DeepESN ditujukan untuk mendapatkan bobot keluaran ( $w_{out}$ ). Pada proses pelatihan, panjang data yang digunakan bermacam macam. Uji coba pada proses pelatihan diberikan untuk melihat pengenalan pola yang optimal menggunakan DeepESN. Sebelum melakukan pelatihan DeepESN diperlukan beberapa inisialisasi awal. Inisialisasi yang pertama yaitu menentukan jumlah masukan atau  $N_u$ . Pada penelitian ini memiliki ukuran masukan sesuai dengan banyaknya kolom pada matriks U. Didapatkan ukuran masukan ( $N_u$ )= 2500. Selanjutnya yaitu menentukan banyaknya *node* pada tiap *reservoir*, dan banyaknya lapisan *reservoir*. Penelitian ini menentukan jumlah *node*, dan banyaknya lapisan *reservoir* dengan menggunakan beberapa percobaan. Percobaan banyaknya *node* ( $N_r$ ) menggunakan 3 percobaan yaitu 100, 120, dan 150 *node*. Untuk percobaan banyaknya lapisan *reservoir* ( $N_l$ ), dilakukan menggunakan 3 percobaan yaitu, 100, 150, dan 200 lapisan. Selain percobaan pada jumlah *node*, dan jumlah lapisan, uji coba juga dilakukan untuk menentukan nilai *learning rate* ( $\alpha$ ). Nilai  $\alpha$  diberikan 3 uji coba yaitu 0.5, 0.8, dan 0.9. Uji coba dilakukan untuk melihat *learning rate* yang paling baik. Inisialisasi selanjutnya yaitu ukuran keluaran( $N_y$ ). Karena penelitian ini ditujukan untuk melihat kondisi citra dengan ukuran yang sama, maka ukuran keluaran  $N_y = N_u = 2500$  *node*.

Proses pelatihan DeepESN dilakukan dengan memasukkan data pelatihan satu persatu menuju lapisan *readout*. Data yang dimasukkan pada DeepESN diambil satu persatu dari matriks  $U$ . Data pertama yang dimasukkan yaitu data

Jenis bobot yang terdapat pada DeepESN terdiri dari 5 macam bobot. Nilai bobot yang pertama yaitu  $w_{in}$ .  $w_{in}$  menghubungkan setiap *node* yang ada pada lapisan masukan menuju *node* yang ada pada *reservoir* lapisan pertama. Pada percobaan yang pertama menggunakan  $\alpha = 0.5$ ,  $N_r = 100$ , dan  $N_l = 100$ . Sedangkan jumlah masukan pada penelitian ini yaitu 2500, sehingga diperoleh ukuran bobot  $w_{in}$  yaitu  $N_r \times N_u = 100 \times 2500$ . Nilai pada matriks  $w_{in}$  dibangkitkan secara acak dengan interval -1 sampai 1. Setelah nilai  $w_{in}$  dibangkitkan secara acak diperoleh nilai pada matriks  $w_{in}$  seperti pada Tabel 4.6.

**Tabel 4.6 Nilai Matriks Bobot Masukan( $w_{in}$ )**

$-2.66 \times 10^{-05}$	$-4.07 \times 10^{-05}$	$-8.19 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-4.54 \times 10^{-05}$
$9.34 \times 10^{-05}$	$8.22 \times 10^{-05}$	$-3.94 \times 10^{-05}$	$\dots$	$7.42 \times 10^{-05}$
$-6.47 \times 10^{-05}$	$9.65 \times 10^{-05}$	$-7.84 \times 10^{-06}$	$\dots$	$-7.14 \times 10^{-06}$
$5.40 \times 10^{-05}$	$6.87 \times 10^{-05}$	$-3.57 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-2.27 \times 10^{-05}$
$3.82 \times 10^{-06}$	$-3.01 \times 10^{-05}$	$-4.66 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-9.09 \times 10^{-05}$
$2.72 \times 10^{-05}$	$-2.94 \times 10^{-05}$	$-8.80 \times 10^{-06}$	$\dots$	$-6.14 \times 10^{-05}$
$-9.33 \times 10^{-05}$	$-9.10 \times 10^{-05}$	$6.28 \times 10^{-05}$	$\dots$	$5.47 \times 10^{-05}$
$-2.10 \times 10^{-06}$	$7.68 \times 10^{-05}$	$-1.57 \times 10^{-05}$	$\dots$	$9.35 \times 10^{-05}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$8.34 \times 10^{-05}$	$-3.27 \times 10^{-05}$	$6.08 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-6.24 \times 10^{-05}$

[illegible]



Jenis Bobot yang ketiga yaitu  $w_x$ . Bobot  $w_x$  menghubungkan *node* yang ada dalam satu *reservoir* menuju *node* lainnya, termasuk terkait dengan dirinya sendiri. Jika jumlah *node* yang digunakan sebanyak 100 *node*, maka diperoleh jumlah keterkaitan yaitu  $100 \times 100$ . Bobot  $w_x$  dibangkitkan secara acak seperti pada bobot lainnya. Berikut merupakan hasil pembangkitan bobot  $w_x$ , dengan 100 *node* pada lapisan *reservoir* ke-1 ditunjukkan pada Tabel 4.10, dan lapisan

**Tabel 4.7 Nilai Matriks  $w_{l=1}$** 

$-3.49 \times 10^{-05}$	$8.8 \times 10^{-05}$	$-5.00 \times 10^{-06}$	...	$8.66 \times 10^{-05}$
$-3.38 \times 10^{-06}$	$1.07 \times 10^{-05}$	$4.44 \times 10^{-05}$	...	$-6.92 \times 10^{-05}$
$-8.71 \times 10^{-05}$	$-4.96 \times 10^{-05}$	$4.84 \times 10^{-05}$	...	$5.35 \times 10^{-05}$
$-2.73 \times 10^{-06}$	$1.53 \times 10^{-05}$	$5.18 \times 10^{-05}$	...	$-2.27 \times 10^{-05}$
$6.70 \times 10^{-05}$	$4.43 \times 10^{-05}$	$7.41 \times 10^{-05}$	...	$-7.48 \times 10^{-05}$
$8.02 \times 10^{-05}$	$-4.18 \times 10^{-05}$	$-3.23 \times 10^{-05}$	...	$5.63 \times 10^{-05}$
$8.97 \times 10^{-07}$	$9.38 \times 10^{-05}$	$3.58 \times 10^{-07}$	...	$3.76 \times 10^{-05}$
$-1.53 \times 10^{-05}$	$2.15 \times 10^{-05}$	$6.32 \times 10^{-06}$	...	$-1.07 \times 10^{-05}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$-2.76 \times 10^{-05}$	$7.64 \times 10^{-05}$	$-5.63 \times 10^{-05}$	...	$-1.51 \times 10^{-06}$

**Tabel 4.8 Nilai Matriks  $w_{l=2}$** 

$2.67 \times 10^{-06}$	$-8.09 \times 10^{-05}$	$2.25 \times 10^{-05}$	...	$2.34 \times 10^{-05}$
$4.07 \times 10^{-06}$	$-2.86 \times 10^{-05}$	$-5.73 \times 10^{-05}$	...	$3.29 \times 10^{-06}$
$4.09 \times 10^{-05}$	$-8.14 \times 10^{-05}$	$3.63 \times 10^{-05}$	...	$8.10 \times 10^{-05}$
$4.44 \times 10^{-06}$	$8.71 \times 10^{-05}$	$-6.69 \times 10^{-05}$	...	$4.20 \times 10^{-05}$
$-9.89 \times 10^{-05}$	$-3.54 \times 10^{-05}$	$-6.96 \times 10^{-05}$	...	$9.20 \times 10^{-05}$
$9.00 \times 10^{-05}$	$6.71 \times 10^{-05}$	$-7.03 \times 10^{-05}$	...	$-2.18 \times 10^{-05}$
$7.20 \times 10^{-05}$	$6.27 \times 10^{-05}$	$7.11 \times 10^{-05}$	...	$6.38 \times 10^{-05}$
$-1.54 \times 10^{-05}$	$2.41 \times 10^{-06}$	$6.97 \times 10^{-05}$	...	$7.86 \times 10^{-05}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$-3.25 \times 10^{-05}$	$2.16 \times 10^{-05}$	$5.30 \times 10^{-05}$	...	$-5.58 \times 10^{-05}$

*reservoir* ke-2 ditunjukkan pada Tabel 4.11. Bobot  $w_x$  dibangkitkan hingga lapisan yang terakhir yaitu pada lapisan  $l = 100$ . Nilai  $w_x$  pada lapisan terakhir ditunjukkan pada Tabel 4.12.

Nilai bobot selanjutnya yaitu bobot bias ( $w_\theta$ ) pada masing-masing lapisan *reservoir*. Setiap bias terhubung dengan masing-masing *node* yang ada dalam satu *reservoir*. Bobot bias menghubungkan nilai bias pada setiap *node* yang ada pada *reservoir*. Pada percobaan yang pertama menggunakan *node* yang berjumlah 100, dengan 100 lapisan maka diperoleh  $w_\theta$  dengan ukuran  $100 \times 100$ . Berikut merupakan hasil nilai bobot  $w_\theta$  yang dibangkitkan secara acak yang disajikan pada Tabel 4.13. Nilai  $w_\theta$  yang disajikan pada Tabel 4.13 memiliki jumlah baris 100

**Tabel 4.9 Nilai Matriks  $w_{l=99}$** 

$9.58 \times 10^{-05}$	$-6.63 \times 10^{-05}$	$8.49 \times 10^{-05}$	...	$-6.68 \times 10^{-05}$
$1.37 \times 10^{-05}$	$-6.62 \times 10^{-06}$	$-2.76 \times 10^{-05}$	...	$-6.02 \times 10^{-05}$
$7.50 \times 10^{-05}$	$-9.55 \times 10^{-05}$	$2.79 \times 10^{-05}$	...	$4.96 \times 10^{-06}$
$-2.66 \times 10^{-05}$	$-1.91 \times 10^{-05}$	$-3.14 \times 10^{-05}$	...	$4.90 \times 10^{-06}$
$-1.90 \times 10^{-05}$	$-1.29 \times 10^{-05}$	$4.37 \times 10^{-05}$	...	$-9.78 \times 10^{-05}$
$4.38 \times 10^{-05}$	$-6.58 \times 10^{-05}$	$-8.29 \times 10^{-06}$	...	$-9.04 \times 10^{-05}$
$5.27 \times 10^{-05}$	$-4.53 \times 10^{-05}$	$-3.72 \times 10^{-05}$	...	$4.76 \times 10^{-05}$
$6.85 \times 10^{-05}$	$4.26 \times 10^{-05}$	$8.88 \times 10^{-05}$	...	$-6.85 \times 10^{-05}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$6.22 \times 10^{-05}$	$2.27 \times 10^{-05}$	$-5.02 \times 10^{-05}$	...	$6.47 \times 10^{-05}$

**Tabel 4.10 Nilai Matriks  $w_x$  Pada Lapisan 1**

-0.730	0.226	-0.046	0.197	...	-0.128
0.251	-0.964	-0.153	0.008	...	-0.112
-0.268	0.095	-0.458	0.159	...	0.217
-0.086	-0.208	-0.097	-0.994	...	0.188
0.237	0.263	-0.159	0.066	...	0.134
-0.269	-0.233	-0.158	0.064	...	0.101
0.129	-0.169	0.0310	-0.092	...	-0.171
0.061	0.141	-0.216	-0.225	...	0.083
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
0.065	-0.049	0.252	0.123	...	-0.495

yang menunjukkan jumlah keterkaitan pada semua *node* dalam satu *reservoir*. Sedangkan Jumlah kolom menunjukkan jumlah lapisan yang terhubung dengan bias.

Bobot yang terakhir yaitu bobot keluaran  $w_{out}$ . Pada tahap pelatihan nilai  $w_{out}$  didapatkan dengan melihat nilai keluaran pada setiap *reservoir* ( $x(t)$ ), dan target yang diinginkan. Awalnya nilai  $x(t)$  pada waktu  $t = 0$  diinisialisasikan dengan 0. Selanjutnya, nilai  $x(t)$  didapatkan dari perhitungan yang ada pada setiap *reservoir*. Pada data pertama ( $t = 1$ ) yang ada pada matriks  $U$  dihitung untuk mendapatkan nilai  $x(t)$  *reservoir* pertama. Nilai  $x(t)$  pada lapisan pertama ( $l = 1$ )

**Tabel 4.12 Nilai Matriks  $w_x$  Pada Lapisan 100**

-0.662	-0.090	0.196	-0.246	...	0.243
-0.169	-0.619	-0.143	0.143	...	-0.228
0.093	0.185	-0.877	-0.084	...	0.136
-0.015	0.015	-0.050	-0.853	...	0.216
0.089	0.072	0.244	0.039	...	0.210
-0.170	-0.199	-0.015	-0.091	...	0.078
0.243	0.140	0.246	-0.139	...	0.158
0.207	0.147	0.224	0.156	...	-0.097
:	:	:	:	...	:
-0.162	0.174	-0.074	-0.245	...	-0.652

Karena  $l = 1$ , maka diperoleh  $i^{(l)} = U(t)$ . Sedangkan disaat  $t = 1$  maka data yang digunakan yaitu semua baris pada kolom pertama dari matriks  $U$  ( $U(1)$ ). Nilai  $U(1)$

$$x^{(1)}(t) = (1 - \alpha^{(1)})x^{(1)}(t-1) + \alpha^{(1)}f(w_{in}^{(1)}i^{(1)}(t) + w_{\theta}^{(1)}\theta^{(1)} + w_x^{(1)}x^{(1)}(t-1))$$

Karena  $l = 1$ , maka diperoleh  $i^{(l)} = U(t)$ . Sedangkan disaat  $t = 1$  maka data yang digunakan yaitu semua baris pada kolom pertama dari matriks  $U$  ( $U(1)$ ). Nilai  $U(1)$



Kondisi  $x(t = 0) = 0$  berpengaruh juga pada proses perhitungan  $w_x^{(l)} x^{(l)}(t - 1)$ , sehingga didapatkan nilai sebagai berikut:

$$w_x^{(l)} x^{(l)}(t-1) = 0$$

$$w_{in}U(1) = \begin{bmatrix} -2.66 \times 10^{-05} & -4.07 \times 10^{-05} & \dots & -4.54 \times 10^{-05} \\ 9.34 \times 10^{-05} & 8.22 \times 10^{-05} & \dots & 7.42 \times 10^{-05} \\ -6.47 \times 10^{-05} & 9.65 \times 10^{-05} & \dots & -7.14 \times 10^{-06} \\ 5.40 \times 10^{-05} & 6.87 \times 10^{-05} & \dots & -2.27 \times 10^{-05} \\ 3.82 \times 10^{-06} & -3.01 \times 10^{-05} & \dots & -9.09 \times 10^{-05} \\ 2.72 \times 10^{-05} & -2.94 \times 10^{-05} & \dots & -6.14 \times 10^{-05} \\ -9.33 \times 10^{-05} & -9.10 \times 10^{-05} & \dots & 5.47 \times 10^{-05} \\ -2.10 \times 10^{-06} & 7.68 \times 10^{-05} & \dots & 9.35 \times 10^{-05} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 8.34 \times 10^{-05} & -3.27 \times 10^{-05} & \dots & -6.24 \times 10^{-05} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0 \\ 67 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 140 \\ 140 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}$$

Sesuai pada Tabel 4.13. Melihat dari beberapa hasil perhitungan diatas didapatkan

nilai  $x(1)^{(1)}$  sebagai berikut:

$$x^{(1)}(1) = 0 + 0.9 \tanh \left( \begin{bmatrix} -0,201 \\ 0,945 \\ 0,022 \\ 0,249 \\ 0,218 \\ 0,239 \\ -0,218 \\ 0,740 \\ \vdots \\ -0,058 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -4.82 \times 10^{-05} \\ -8.83 \times 10^{-05} \\ 3.96 \times 10^{-05} \\ 7.95 \times 10^{-05} \\ -8.28 \times 10^{-05} \\ 5.97 \times 10^{-05} \\ -5.55 \times 10^{-05} \\ 3.15 \times 10^{-05} \\ \vdots \\ 8.69 \times 10^{-05} \end{bmatrix} + 0 \right) = \begin{bmatrix} -0,198 \\ 0,737 \\ 0,022 \\ 0,244 \\ 0,215 \\ 0,234 \\ -0,21 \\ 0,629 \\ \vdots \\ -0,058 \end{bmatrix}$$

Proses selanjutnya yaitu membawa nilai  $x(1)^{(1)}$  sebagai nilai masukan lapisan ke-2 ( $l = 2$ ), untuk memperoleh nilai  $x(1)^{(2)}$ . Seperti pada perhitungan nilai  $x(1)^{(1)}$ , nilai  $x(1)^{(2)}$  diperoleh menggunakan yang sama. Perbedaannya yaitu nilai  $i^{(l)} = x(1)^{(1)}$ . Nilai dari *reservoir* pertama menjadi masukan pada *reservoir* kedua. Seperti pada perhitungan *reservoir* pertama, kondisi awal  $x(t = 0) = 0$ . Sehingga didapatkan nilai dari  $w_x^{(2)} x^{(2)}(0) = 0$ . Berikut proses perhitungan untuk  $x^{(2)}(1)$ .

$$x^{(2)}(1) = 0 + 0.9 \tanh \left( \begin{bmatrix} 0,0002 \\ -8,08 \times 10^{-05} \\ -2,28 \times 10^{-05} \\ 0,0001 \\ \vdots \\ 0,0001 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -9.42 \times 10^{-05} \\ 4.29 \times 10^{-05} \\ -7.94 \times 10^{-05} \\ -2.16 \times 10^{-05} \\ \vdots \\ -1.28 \times 10^{-05} \end{bmatrix} + 0 \right) = \begin{bmatrix} 0,0002 \\ -8,08 \times 10^{-05} \\ -2,28 \times 10^{-05} \\ 0,0001 \\ \vdots \\ 0,0001 \end{bmatrix}$$



$$x^{(100)}(1) = 0 + 0.9 \tanh \left( \begin{bmatrix} -9,42 \times 10^{-05} \\ 4,29 \times 10^{-05} \\ -7,94 \times 10^{-05} \\ -2,16 \times 10^{-05} \\ -4,39 \times 10^{-05} \\ -4,96 \times 10^{-05} \\ \vdots \\ -1,27 \times 10^{-05} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -9,42 \times 10^{-05} \\ 4,29 \times 10^{-05} \\ -7,94 \times 10^{-05} \\ -2,16 \times 10^{-05} \\ -4,39 \times 10^{-05} \\ -4,96 \times 10^{-05} \\ \vdots \\ -1,28 \times 10^{-05} \end{bmatrix} + 0 \right) = \begin{bmatrix} -9,42 \times 10^{-05} \\ 4,29 \times 10^{-05} \\ -7,94 \times 10^{-05} \\ -2,15 \times 10^{-05} \\ -4,39 \times 10^{-05} \\ -4,95 \times 10^{-05} \\ \vdots \\ -1,28 \times 10^{-05} \end{bmatrix}$$

**Tabel 4.13 Nilai Matriks  $w_\theta$**

**Tabel 4.13 Nilai Matriks  $w_\theta$**

$w_{\theta}^{(1)}$	$w_{\theta}^{(2)}$	$w_{\theta}^{(3)}$	$\dots$	$w_{\theta}^{(100)}$
$-4.82 \times 10^{-05}$	$-2.12 \times 10^{-05}$	$-6.01 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-9.42 \times 10^{-05}$
$-8.83 \times 10^{-05}$	$-5.22 \times 10^{-05}$	$4.96 \times 10^{-05}$	$\dots$	$4.29 \times 10^{-05}$
$3.96 \times 10^{-05}$	$4.89 \times 10^{-05}$	$8.65 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-7.94 \times 10^{-05}$
$7.95 \times 10^{-05}$	$7.34 \times 10^{-05}$	$-7.79 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-2.16 \times 10^{-05}$
$-8.28 \times 10^{-05}$	$4.40 \times 10^{-05}$	$-5.52 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-4.39 \times 10^{-05}$
$5.97 \times 10^{-05}$	$-6.49 \times 10^{-05}$	$-9.68 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-4.96 \times 10^{-05}$
$-5.55 \times 10^{-05}$	$-8.94 \times 10^{-05}$	$7.22 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-6.01 \times 10^{-06}$
$3.15 \times 10^{-05}$	$8.22 \times 10^{-05}$	$-9.20 \times 10^{-05}$	$\dots$	$6.05 \times 10^{-06}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	$\ddots$	$\vdots$
$8.69 \times 10^{-05}$	$9.93 \times 10^{-05}$	$-5.35 \times 10^{-05}$	$\dots$	$-1.28 \times 10^{-05}$





Nilai  $X$  digunakan untuk pencarian bobot yang optimal. Untuk









melihat hasil sebaran nilai PSNR ditunjukkan pada Gambar 4.5. Sumbu mendatar menunjukkan data yang dihitung nilai PSNR, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan nilai PSNR yang didapatkan. Melihat dari Gambar 4.5 data memiliki kemiripan yang cukup tinggi pada 600 data awal atau citra pada bulan September. Nilai PSNR mengalami penurunan karena terdapat pergantian musim dari musim kemarau menuju musim hujan. Pada saat peralihan musim terjadi perubahan cuaca yang tidak menentu. Perubahan cuaca yang sangat cepat dan tidak menentu membuat sistem yang sudah dibuat sedikit mengalami gangguan.

**Tabel 4.15 Sebaran Nilai PSNR pada Percobaan ke 5**

Data ke ke-	Nilai PSNR
1	23.1759
2	21.1488
3	22.9065
4	28.1847
5	32.6639
6	32.0880
7	32.5831
8	33.4677
9	36.3724
10	37.4504
⋮	⋮
216	32.1732
217	36.3748
218	51.2005
219	46.8493
220	46.2748
⋮	⋮
2181	20.2012
2182	21.1366
2183	22.8814

Pembelajaran pola dengan memperbaiki nilai  $x(t)$  setiap kali data baru dimasukkan. Namun, hasil percobaan pengenalan pola dengan perbaikan nilai  $x(t)$  tidak cukup untuk meningkatkan nilai PSNR kembali. Diperlukan perbaikan nilai





## BAB V

## PENUTUP

Pada bab ini akan diberikan simpulan dan saran-saran yang dapat diambil berdasarkan materi-materi yang telah dibahas pada bab-bab sebelumnya.

## 5.1. Simpulan

Melihat dari hasil dan pembahasan peneliti dapat mengambil beberapa kesimpulan yaitu ;

1. Prediksi awan cumulonimbus pada citra himawari dapat dipelajari menggunakan DeepESN. Prediksi menggunakan DeepESN diperlukan beberapa uji coba untuk mendapatkan struktur yang bagus. Pada penelitian ini struktur yang paling bagus menggunakan *learning rate* 0.5, jumlah node 120, dan lapisan *reservoir* sebanyak 150 lapisan. Proses prediksi dilakukan dengan mengambil citra merah dan menjadikan satu citra dalam sebuah vektor. Setiap vektor citra dimasukkan dala sistem DeepESN untuk dipelajari pola pertumbuhan awannya.
2. Pada penelitian ini pengukuran keberhasilan dilihat dari tingkat kemiripan antara citra sebenarnya dengan citra hasil prediksi. Penilaian rata-rata kemiripan citra dengan metode PSNR didapatkan hasil terbaik yaitu 22.994. Rata-rata PSNR tersebut memiliki nilai PSNR terkecil yaitu 8.676, dan nilai kemiripan tertinggi yaitu 51.2006 dB.



Yang, B., Liu, J., & Liu, D.-Y. (2011). *A support vector machine with rough set-based feature selection for breast cancer classification*. *Journal of Systems with Applications*, 38(7), 9014–9022.

Supriyanto, A. A. (2015). *Pengolahan Citra Satelit Dengan Menggunakan Metode*. Brawijaya Press.

Supriyanto, A. A., & Fachrurrozi, M. (2017). *Pemanfaatan Data Satelit Untuk Mengukur Dampak Kerugian Materiil dan Jiwa Akibat Bencana Banjir di Kalimantan Barat*. The Utilization of Ir 1 Him to Measure the Impact of Material Loss and Soul Due to Natural Disasters in Kalimantan Barat.

Wang, Y. (1992). *Planet earth: cosmology, geology, and the evolution of life*. New York: W. H. Freeman & Co.

- 68







*Recurrent neural network based language model.* Eleventh Annual Conference of the International Speech Communication Association.

- Ugraheny, D. (2015). *Metode Nilai Jarak guna Kesamaan atau Kemiripan Ciri suatu Citra (kasus deteksi awan cumulonimbus menggunakan principal component analysis)*. Angkasa: Jurnal Ilmiah Bidang Teknologi, 7(2), 21–30.

andjaitan, B. S., & Damayanti, M. I. (2018). *Kajian Mikrofisis Awan Menggunakan Satelit Himawari 8 pada Kejadian Hail (Studi Kasus: Kejadian Hail di Jakarta Tanggal 28 Maret 2017)* Study of Cloud Microphysic Using Himawari 8 Satellite on the Hail Stone Event (Case Study: Hail Stone Event in Jakarta o.

aski, J. A. I., Permana, D. S., Sepriando, A., & Pertiwi, D. A. S. (2017). *Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Hujan Es Memanfaatkan Citra Radar dan Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Tanggal 3 Mei 2017 di Kota Bandung)* Atmospheric Dynamics Analysis of Hail Event Utilizing Radar and Himawari-8 Satellite Imagery (Case Study: May 3, 2017 in Bandung City).

irahanSiah, F., Abdullah, S. N. H. S., & Sahran, S. (2010). *Adaptive image segmentation based on peak signal-to-noise ratio for a license plate recognition system*. In 2010 International Conference on Computer Applications and Industrial Electronics (pp. 468–472). IEEE.

utra, D. (2010). *Pengolahan citra digital*. Penerbit Andi.

oza, E. (2019). *Maritim Indonesia, Kemewahan Yang Luar Biasa*. Retrieved October 12, 2019, from <https://kkp.go.id/artikel/2233-maritim-indonesia-kemewahan-yang-luar-biasa>

- Schaetti, N., Salomon, M., & Couturier, R. (2016). *Echo state networks-based reservoir computing for mnist handwritten digits recognition*. 2016 IEEE Intl Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE Intl Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC) and 15th Intl Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering (DCABES), 484–491. IEEE.
- Schrauwen, B., Verstraeten, D., & Van Campenhout, J. (2007). *An overview of reservoir computing: theory, applications and implementations*. Proceedings of the 15th European Symposium on Artificial Neural Networks. p. 471-482 2007, 471–482.
- Suwargana, N. (2013). *Resolusi spasial, temporal dan spektral pada citra satelit Landsat, SPOT dan IKONOS*. Jurnal Ilmiah Widya, 1(2), 167–174.
- Utoyo, B. (2007). *Geografi: Membuka Cakrawala Dunia*. PT Grafindo Media Pratama.
- Van der Sande, G., Brunner, D., & Soriano, M. C. (2017). *Advances in photonic reservoir computing*. Nanophotonics, 6(3), 561–576.
- Wolf, S., & Pinson, M. H. (2009). *Reference algorithm for computing peak signal to noise ratio (psnr) of a video sequence with a constant delay*. ITU-T Contribution COM9-C6-E.
- Yao, S., Lin, W., Ong, E., & Lu, Z. (2005). *Contrast signal-to-noise ratio for image quality assessment*. In IEEE International Conference on Image Processing 2005 (Vol. 1, pp. I–397). IEEE.
- Yusoff, M.-H., & Jin, Y. (2014). *Modeling neural plasticity in echo state*

