



TUGAS AKHIR - RG141536

**ANALISIS POLA CURAH HUJAN PADA KONDISI
CUACA EKSTREM BULAN OKTOBER HINGGA
DESEMBER 2017 MELALUI CITRA MODIS LEVEL
1B DI PROVINSI JAWA TIMUR**

FENDRA DWI RAMADHAN
NRP 0331 1440000 093

Dosen Pembimbing
Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL ASSIGNMENT - RG141536

ANALYSIS OF RAINFALL PATTERN WHEN EXTREME WEATHER CONDITIONS ON OCTOBER UNTIL DECEMBER 2017 THROUGH MODIS LEVEL 1B IMAGERY IN EAST JAVA PROVINCE

FENDRA DWI RAMADHAN
NRP 0331 1440000 093

Advisor
Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil, Environmental and Geo Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

ANALISIS POLA CURAH HUJAN PADA KONDISI CUACA EKSTREM BULAN OKTOBER HINGGA DESEMBER 2017 MELALUI CITRA MODIS LEVEL 1B DI PROVINSI JAWA TIMUR

Nama Mahasiswa : Fendra Dwi Ramadhan
NRP : 0331 1440000 093
Departemen : Teknik Geomatika
Dosen Pembimbing : Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc

Abstrak

Cuaca ekstrem merupakan keadaan atau fenomena fisik atmosfer pada waktu tertentu, berskala jangka pendek dan bersifat ekstrem. Citra satelit MODIS merupakan salah satu citra penginderaan jauh yang dapat digunakan untuk pemantauan curah hujan khususnya di wilayah tropis seperti Indonesia. Dalam kajian meteorologi, citra satelit MODIS dapat menyadap berbagai informasi terkait parameter pendukung curah hujan seperti halnya suhu permukaan awan (SPA) dan albedo awan (ALB). Dalam penelitian ini, pemantauan curah hujan dilakukan dengan cara estimasi menggunakan metode regresi linier berganda dengan parameter curah hujan aktual, suhu permukaan awan (SPA) dan albedo awan (ALB). Analisis spasial dilakukan untuk mengetahui pola curah hujan terhadap kondisi ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur. Berdasarkan hasil penelitian, di dapatkan nilai korelasi (R) antara CH Aktual, SPA dan ALB pada persamaan regresi linier berganda sebesar 62,4% sedangkan nilai koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,390. Sedangkan, pada hasil perbandingan nilai CH Estimasi dengan CH Aktual di dapatkan nilai uji akurasi (RMSE) sebesar 8,643 mm/hari dan hasil uji korelasi (R) menunjukkan nilai 59,8% dengan koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,358. Kemudian, nilai intensitas curah hujan yang diperoleh dari citra MODIS berupa estimasi minimal

pada bulan Oktober hingga Desember sebesar 0 mm/hari dan estimasi maksimal pada bulan Oktober sebesar 14,977 mm/hari, bulan November sebesar 18,515 mm/hari dan bulan Desember sebesar 15,332 mm/hari. Pada hasil analisis spasial menunjukkan bahwa ketiga kelas curah hujan (< 5 mm/hari, 5 – 20 mm/hari dan 20 – 50 mm/hari) tersebar di ketiga kelas ketinggian wilayah (Dataran Rendah, Dataran Sedang dan Dataran Tinggi) di Provinsi Jawa Timur, dengan luas luas wilayah curah hujan estimasi pada bulan Oktober terbanyak pada tanggal 27 Oktober 2017 sebesar 39.888 km², pada bulan November terbanyak pada tanggal 28 November 2017 sebesar 47.584 km² , sedangkan pada bulan Desember terbanyak pada tanggal 26 Desember 2017 sebesar 45.903 km².

Kata kunci: Albedo Awan, Curah Hujan, MODIS, Regresi Linier Berganda, Suhu Permukaan Awan

ANALYSIS OF RAINFALL PATTERN WHEN EXTREME WEATHER CONDITIONS ON OCTOBER UNTIL DECEMBER 2017 THROUGH MODIS LEVEL 1B IMAGERY IN EAST JAVA PROVINCE

Student Name : Fendra Dwi Ramadhan
NRP : 0331 1440000 093
Department : Geomatics Engineering
Advisor : Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc

Abstract

Extreme weather is a state or phenomenon of Atmospheres at any given time, short-term and extreme. MODIS satellite imagery is one of the remote sensing imagery that can be used to monitor specific rainfall in tropical region such as Indonesia. In meteorological studies, MODIS satellite imagery can tap various information related to rainfall supporting parameters such as Cloud Surface Temperature (SPA) and Cloud Albedo (ALB). In this research, rainfall measurement is done by estimation using multiple linear regression method with actual rainfall parameter, Cloud Surface Temperature (SPA) and Cloud Albedo (ALB). Spatial analysis is done to know rainfall pattern to the condition of altitude area in East Java Province. Based on the result of research, got correlation value (R) between CH Actual, SPA and ALB on multiple linear regression equation equal to 62.4% while determinant coefficient value (R^2) equal to 0.390. Meanwhile, on the result of comparison of CH Estimated with CH Actual, got the accuracy test value (RMSE) of 8.643 mm / day and result of correlation test (R) show value 59.8% with coefficient of determinant (R^2) equal to 0.358. Then, the rainfall intensity value obtained from the MODIS imagery is estimated to be minimal from October to December at 0 mm / day and the estimated maximum in October is 14.977 mm / day, November at 18.515 mm / day and in

December at 15.332 mm / day. Spatial analysis shows that three rainfall classes (<5 mm / day, 5 - 20 mm / day and 20 - 50 mm / day) are scattered in the three classes of altitude (Lowlands, Medium and Highlands) in the East Java Province, with the widest area of precipitation estimated in October mostly on October 27, 2017 amounted to 39,888 km², in November mostly on November 28, 2017 of 47,584 km², while in December most on December 26, 2017 of 45,903 km².

Key words: Cloud Albedo, Cloud Surface Temperature, MODIS, Multiple Linear Regression, Rainfall

**ANALISIS POLA CURAH HUJAN PADA KONDISI
CUACA EKSTREM BULAN OKTOBER HINGGA
DESEMBER 2017 MELALUI CITRA MODIS LEVEL
1B DI PROVINSI JAWA TIMUR**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

FENDRA DWI RAMADHAN

NRP. 0331 1440000 093

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:



Dr. Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc

NIP. 19590819198502 001

(Pembimbing)

SURABAYA, JULI 2018

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “*Analisis Pola Curah Hujan pada Kondisi Cuaca Ekstrem Bulan Oktober hingga Desember 2017 melalui Citra MODIS Level 1B di Provinsi Jawa Timur*” ini dengan baik dan lancar.

Dalam penyelesaian laporan ini, penulis banyak mendapatkan bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Suryanto Eko Putro dan Ibu Sri Yuniarti Retno Hastuti, selaku kedua orangtua penulis yang senantiasa memberikan dukungan doa, nasehat, materi dan kesabaran dalam penyusunan Tugas Akhir ini kepada penulis
2. Filhanda Della Yuneka Putri, selaku kakak kandung penulis yang telah memberikan motivasi, arahan dan dukungan moral kepada penulis
3. Bapak Mokhamad Nur Cahyadi, S.T, M.Sc, Ph.D selaku Ketua Departemen Teknik Geomatika ITS
4. Bapak Yanto Budisusanto, ST, M.Eng selaku Ketua Program Studi S-1 Departemen Teknik Geomatika ITS
5. Bapak Dr.-Ing. Ir. Teguh Hariyanto, M.Sc, selaku Dosen Pembimbing atas bimbingan, saran serta segala kemudahannya hingga terselesaikannya Tugas Akhir ini
6. Ibu Cherie Bhukti Pribadi, S.T, M.T, selaku Dosen Konsultasi atas segala saran, arahan dan kesabaran yang diberikan kepada penulis selama tahap pengolahan data
7. Bapak Husnul Hidayat, S.T, M.T, selaku Dosen Wali penulis. Terima kasih atas dukungan dan bantuan yang telah bapak berikan selama masa perkuliahan
8. Bapak Rofiq Isa Mansur, S.Si dan Ibu Jihan Ainul Rohmah, S.Kom, selaku staff di Stasiun Meteorologi Klas I BMKG Juanda yang telah membantu perolehan data curah hujan lapangan

9. Rif'at Darajat, S. Si dan Richard Mahendra Putra, S.Tr, atas segala dukungan, saran, wawasan dan motivasi yang telah diberikan kepada penulis
10. Teman-teman Teknik Geomatika ITS Angkatan 2014 yang selalu memberikan semangat, masukan dan dukungan yang membangun selama masa perkuliahan
11. Teman-teman Teknik Geomatika ITS Angkatan 2011, 2012, 2013, 2015 dan 2016 atas segala dukungan semangat dan motivasi kepada penulis
12. Pihak-pihak yang tidak bisa disebutkan satu persatu yang telah membantu penulis

Penulis menyadari bahwa masih terdapat kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu, penulis memohon maaf jika masih ada kesalahan yang terdapat pada Tugas Akhir ini, selain itu penulis mengharapkan adanya kritik dan saran demi kesempurnaan Tugas Akhir yang telah dibuat.

Akhir kata, penulis menyampaikan terima kasih atas segala kesempatan yang telah diberikan kepada penulis, semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
HALAMAN PENGESAHAN	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR LAMPIRAN	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Curah Hujan	5
2.2 Alat Penakar Hujan.....	7
2.3 Penginderaan Jauh untuk Lingkungan Atmosfer	13
2.4 MODIS	15
2.5 SRTM.....	20
2.6 Pengolahan Data Citra	22
2.6.1 Koreksi Bow-Tie	22
2.6.2 Koreksi Geometrik	24
2.6.3 Kalibrasi Radiometrik.....	25
2.6.4 <i>Cloud Masking</i>	27
2.6.5 Pemotongan Citra	27
2.7 Suhu Permukaan Awan	28
2.8 Albedo	29
2.9 Estimasi Curah Hujan.....	32
2.10 Kondisi Atmosfer pada Saat Terjadinya Hujan.....	33
2.11 Analisis Spasial	34
2.12 Analisis Statistik.....	36

2.12.1	Regresi Linier Berganda	36
2.12.2	Uji Akurasi	38
2.12.3	Uji Korelasi	39
2.13	Penelitian Terdahulu	40
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		45
3.1	Lokasi Penelitian	45
3.2	Data dan Peralatan	46
3.2.1	Data	46
3.2.2	Peralatan	47
3.3	Metodologi Penelitian.....	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		59
4.1	Hasil Pengolahan Citra MODIS untuk Estimasi Curah Hujan	59
4.1.1	<i>Georeferencing</i>	59
4.1.2	Koreksi Geometrik.....	61
4.1.3	<i>Cloud Masking</i>	62
4.1.4	Kalibrasi Radiometrik.....	64
4.1.5	Ekstraksi Nilai SPA dan ALB.....	65
4.1.6	Pemotongan Citra	68
4.1.7	Data Curah Hujan Estimasi untuk Persamaan Regresi Linier Berganda	69
4.1.8	Pemilihan Sampel, Keterbatasan Metode dan Data.....	70
4.1.9	Hubungan SPA, ALB dan Curah Hujan Estimasi	71
4.1.10	Uji Persamaan Estimasi Curah Hujan	74
4.1.11	Klasifikasi Nilai Estimasi Curah Hujan	77
4.1.12	Pola Curah Hujan Estimasi pada 26, 27 dan 28 Oktober 2017	79
4.1.13	Pola Curah Hujan Estimasi pada 26, 27 dan 28 November 2017	82
4.1.14	Pola Curah Hujan Estimasi pada 26, 27 dan 28 Desember 2017	84
4.1.15	Perbandingan Pola Curah Hujan Estimasi dengan Curah Hujan Aktual.....	87

4.1.16	Uji Akurasi Curah Hujan Estimasi dengan Curah Hujan Aktual	94
4.1.17	Uji Korelasi Curah Hujan Estimasi dengan Curah Hujan Aktual	95
4.2	Hasil Pengolahan Citra SRTM untuk Menentukan Ketinggian Wilayah	96
4.2.1	<i>Mosaicing</i>	97
4.2.1	<i>Cropping</i>	97
4.2.2	<i>Hillshading</i>	97
4.2.3	Klasifikasi Ketinggian Wilayah	98
4.3	Analisis Spasial Pola Curah Hujan Estimasi terhadap Ketinggian Wilayah	100
BAB V PENUTUP		107
5.1	Kesimpulan	107
5.2	Saran	108
DAFTAR PUSTAKA		109
LAMPIRAN		107
BIODATA PENULIS		171

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Alat Penakar Hujan.....	10
Gambar 2. 2 Peta Persebaran Pos Hujan Terpilih BMKG di Provinsi Jawa Timur	12
Gambar 2. 3 Morfologi Efek Bow-Tie	23
Gambar 3. 1 Peta Provinsi Jawa Timur	45
Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Penelitian Tugas Akhir	48
Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data.....	51
Gambar 4. 1 Tampilan Citra AQUA-MODIS pada 27 November 2017, Sebelum dan Sesudah <i>Georeferencing</i>	60
Gambar 4. 2 Peta Persebaran Titik GCP pada 27 November 2017 di Provinsi Jawa Timur	61
Gambar 4. 3 Hasil Tampilan <i>Cloud Masking</i> pada Kanal Reflektan (<i>Band 3</i>) 27 November 2017	63
Gambar 4. 4 Tampilan Citra SPA pada 27 November 2017, Sebelum dan Sesudah Pemotongan Citra	68
Gambar 4. 5 Tampilan Citra ALB pada 27 November 2017, Sebelum dan Sesudah Pemotongan Citra	69
Gambar 4. 6 Peta Persebaran Titik Pos Hujan Terpilih Provinsi Jawa Timur	70
Gambar 4. 7 Perbandingan Visualisasi Rona antara SPA (kiri) dan ALB (kanan)	73
Gambar 4. 8 Diagram Pola Curah Hujan Estimasi Tanggal 26	78
Gambar 4. 9 Diagram Pola Curah Hujan Estimasi Tanggal 27	78
Gambar 4. 10 Diagram Pola Curah Hujan Estimasi Tanggal 28	79
Gambar 4. 11 Peta Curah Hujan Estimasi 26 Oktober 2017.....	80
Gambar 4. 12 Peta Curah Hujan Estimasi 27 Oktober 2017.....	81

Gambar 4. 13 Peta Curah Hujan Estimasi 28 Oktober 2017.....	81
Gambar 4. 14 Peta Curah Hujan Estimasi 26 November 2017..	83
Gambar 4. 15 Peta Curah Hujan Estimasi 27 November 2017..	83
Gambar 4. 16 Peta Curah Hujan Estimasi 28 November 2017..	84
Gambar 4. 17 Peta Curah Hujan Estimasi 26 Desember 2017..	85
Gambar 4. 18 Peta Curah Hujan Estimasi 27 Desember 2017..	86
Gambar 4. 19 Peta Curah Hujan Estimasi 28 Desember 2017..	86
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Curah Hujan Estimasi dengan Curah Hujan Aktual pada Data Persamaan Regresi Linier Berganda (27-okt-2017 dan 27-nov-2017).....	87
Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 26 Oktober 2017....	88
Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 27 Oktober 2017....	88
Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 28 Oktober 2017....	89
Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 26 November 2017..	89
Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 27 November 2017..	89
Gambar 4. 26 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 28 November 2017..	90
Gambar 4. 27 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 26 Desember 2017..	90
Gambar 4. 28 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 27 Desember 2017..	90
Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 28 Desember 2017..	91
Gambar 4. 30 Korelasi CH Estimasi dengan CH Aktual	96
Gambar 4. 31 Hasil Proses <i>Mosaicing</i> (kiri) dan <i>Cropping</i> (kanan).....	97
Gambar 4. 32 Hasil Proses <i>Hillshading</i>	98
Gambar 4. 33 Hasil Proses Klasifikasi Ketinggian Wilayah.....	98
Gambar 4. 34 Peta Ketinggian Wilayah Provinsi Jawa Timur..	99

Gambar 4. 35 Curah Hujan Aktual (atas) dan Curah Hujan
Estimasi (bawah) pada 27 November 2017
di Provinsi Jawa Timur..... 103

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Curah Hujan	
Menurut Standar Internasional WMO.....	6
Tabel 2. 2 Klasifikasi Curah Hujan di Indonesia	
Menurut BMKG	6
Tabel 2. 3 Jumlah Curah Hujan dan Hari Hujan Menurut	
Bulan di Provinsi Jawa Timur Tahun 2016.....	6
Tabel 2. 4 Koordinat Titik Pos Penakar Hujan Terpilih	
BMKG di Provinsi Jawa Timur	10
Tabel 2. 5 Spesifikasi Teknis Sensor MODIS	16
Tabel 2. 6 Karakteristik Sensor MODIS.....	17
Tabel 2. 7 Spesifikasi Sensor SRTM.....	20
Tabel 2. 8 Spesifikasi Data SRTM	21
Tabel 2. 9 Klasifikasi Ketinggian Wilayah.....	22
Tabel 2. 10 Klasifikasi SPA	29
Tabel 2. 11 Albedo Pada Beberapa Jenis Awan	30
Tabel 2. 12 Nilai Rata-Rata Solar Spectral Irradians	
pada Kanal 1, Kanal 3 dan Kanal 4	
Citra MODIS Level 1B	31
Tabel 2. 13 Klasifikasi ALB.....	32
Tabel 2. 14 Hubungan SPA dan ALB	
terhadap Asumsi Curah Hujan	32
Tabel 2. 15 Interpretasi Koefisien Korelasi	40
Tabel 2. 16 Daftar Penelitian Terdahulu.....	41
Tabel 3. 1 Tabel Data Citra MODIS Level 1B	46
Tabel 4. 1 Hasil Nilai RMSE pada Citra MODIS.....	62
Tabel 4. 2 Hasil Statistik <i>Cloud Masking</i> pada Kanal	
Reflektan (<i>Band 3</i>) 27 November 2017	63
Tabel 4. 3 Hasil Statistik Nilai Radiansi pada Kanal	
Reflektan (<i>Band 1;4;3</i>)	65
Tabel 4. 4 Hasil Statistik Nilai Reflektansi pada Kanal	
Reflektan (<i>Band 1;4;3</i>)	65

Tabel 4. 5 Hasil Statistik Nilai Radiansi pada Kanal <i>Emissive Radiance (Band 31;32)</i>	65
Tabel 4. 6 Hasil Statistik Nilai <i>Brightness Temperature</i> pada Kanal <i>Emissive Radiance (Band 31;32)</i>	65
Tabel 4. 7 Parameter Nilai Perhitungan Albedo Awan	66
Tabel 4. 8 Nilai Sebaran SPA dan ALB pada Citra AQUA MODIS 27 November 2017	67
Tabel 4. 9 Nilai Korelasi SPA, ALB dan Curah Hujan.....	72
Tabel 4. 10 Nilai Persamaan Model Regresi	75
Tabel 4. 11 Nilai Hasil Statistik Deskriptif.....	75
Tabel 4. 12 Nilai Hasil Uji F	76
Tabel 4. 13 Nilai Hasil Uji t	76
Tabel 4. 14 Hasil Uji Akurasi Metode RMSE	94
Tabel 4. 15 File Data Citra DEM SRTM.....	97
Tabel 4. 16 Hasil Analisis Spasial Luas Wilayah Curah Hujan Bulan Oktober 2017	100
Tabel 4. 17 Hasil Analisis Spasial Luas Wilayah Curah Hujan Bulan November 2017.....	100
Tabel 4. 18 Hasil Analisis Spasial Luas Wilayah Curah Hujan Bulan Desember 2017	101

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Ekstraksi Nilai SPA dan ALB.....	113
Lampiran 2 Hasil Uji Persamaan Regresi Linier Berganda	117
Lampiran 3 Tabel Perbandingan CH Estimasi dan CH Aktual	121
Lampiran 4 Peta Persebaran Titik GCP Provinsi Jawa Timur	125
Lampiran 5 Peta Suhu Permukaan Awan Provinsi Jawa Timur	135
Lampiran 6 Peta Albedo Awan Provinsi Jawa Timur.....	145
Lampiran 7 Peta Pola Curah Hujan Estimasi Provinsi Jawa Timur	155
Lampiran 8 Peringatan Dini Cuaca Ekstrem di Provinsi Jawa Timur	165
Lampiran 9 Tabel Hasil Seleksi Data CH Aktual, SPA dan ALB.....	167

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Letak geografis Indonesia yang berada di region lintang rendah (*low latitudes*) dengan kondisi wilayah perairan sebesar 70% menyebabkan jumlah air yang menguap sangatlah besar sehingga formasi awan hujan yang terbentuk bervariasi dan juga menimbulkan fluktuasi cuaca. Salah satu indikator fluktuasi cuaca adalah adanya kondisi cuaca ekstrem pada beberapa wilayah di Indonesia (Tjasyono 2009). Pada tahun 2017, BMKG Juanda mengeluarkan peringatan cuaca ekstrem yang berlaku mulai tanggal 26 – 28 November 2017 di wilayah Provinsi Jawa Timur yang telah menyebabkan adanya potensi hujan lebat hingga ekstrem di wilayah tersebut. Cuaca ekstrem merupakan keadaan atau fenomena fisik atmosfer pada waktu tertentu, berskala jangka pendek dan bersifat ekstrem. BMKG mengkategorikan salah satu kriteria cuaca ekstrem terjadi apabila curah hujan bernilai ≥ 20 mm/jam atau ≥ 100 mm/hari (BMKG 2017).

Pemantauan curah hujan dapat diketahui melalui pemanfaatan alat-alat pemantau cuaca secara konvensional, namun dengan semakin berkembangnya teknologi penginderaan jauh, pemantauan curah hujan pun dapat dilakukan dengan menggunakan data citra satelit penginderaan jauh. Citra satelit MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) merupakan salah satu citra penginderaan jauh yang dapat digunakan untuk pemantauan curah hujan khususnya di wilayah tropis seperti Indonesia. Dalam kajian meteorologi, citra satelit MODIS dapat menyadap berbagai informasi terkait parameter pendukung curah hujan seperti halnya suhu permukaan awan dan albedo awan (Darajat 2014).

Penelitian dalam Tugas Akhir ini secara khusus membahas dan menganalisis tentang pola curah hujan pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 melalui citra satelit MODIS Level 1B di Provinsi Jawa Timur. Estimasi curah hujan

dilakukan dengan menggunakan metode regresi linier berganda dengan parameter curah hujan aktual, suhu permukaan awan (SPA) dan albedo awan (ALB). Analisa spasial dilakukan untuk mengetahui pola curah hujan estimasi terhadap kondisi ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur. Hasil nilai curah hujan estimasi yang didapatkan dari MODIS dibandingkan dengan data curah hujan hasil pengukuran secara aktual dari pos hujan yang tersebar di Provinsi Jawa Timur. Hasil akhir dari penelitian Tugas Akhir ini berupa peta pola curah hujan pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur, informasi nilai akurasi dan korelasi curah hujan hasil estimasi terhadap data aktual dan informasi hasil analisis spasial.

1.2 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagaimana nilai curah hujan dari citra satelit MODIS pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur?
- b. Bagaimana pola curah hujan dari citra satelit MODIS pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur?
- c. Bagaimana akurasi dan korelasi antara nilai curah hujan dari citra satelit MODIS terhadap data aktual pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur?
- d. Bagaimana hasil analisis spasial pola curah hujan estimasi terhadap kondisi ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur?

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Objek yang ditentukan adalah curah hujan
- b. Daerah penelitian di wilayah Provinsi Jawa Timur

- c. Parameter yang digunakan dalam estimasi curah hujan adalah curah hujan aktual, suhu permukaan awan dan albedo awan
- d. Metode yang digunakan dalam estimasi curah hujan adalah metode statistik regresi linier berganda
- e. Citra satelit MODIS yang digunakan adalah Level 1B pada bulan Oktober hingga Desember 2017
- f. Data curah hujan yang digunakan sebagai pembanding adalah data curah hujan dari pos hujan yang tersebar di Provinsi Jawa Timur
- g. Hasil yang di dapat pada akhir penelitian Tugas Akhir adalah peta pola curah hujan pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur, informasi nilai akurasi dan korelasi curah hujan hasil estimasi terhadap data aktual dan informasi hasil analisis spasial.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan Tugas Akhir ini adalah:

- a. Menghitung nilai curah hujan dari citra satelit MODIS pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur
- b. Menentukan pola curah hujan serta membuat peta pola curah hujan dari citra satelit MODIS pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur
- c. Menghitung akurasi dan korelasi antara nilai curah hujan dari citra satelit MODIS terhadap data aktual pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur
- d. Melakukan analisis spasial pola curah hujan estimasi terhadap kondisi ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur

1.5 **Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diperoleh dari Tugas Akhir ini adalah:

- a. Mengetahui nilai curah hujan dari citra satelit MODIS pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur
- b. Mengetahui pola curah hujan dari citra satelit MODIS pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur
- c. Mengetahui akurasi dan korelasi antara nilai curah hujan dari citra satelit MODIS terhadap data aktual pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur
- d. Mengetahui hasil analisis spasial pola curah hujan estimasi terhadap kondisi ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Curah Hujan

Hujan merupakan salah satu fenomena alam yang terdapat dalam siklus hidrologi. Keberadaan hujan sangat penting dalam kehidupan, karena hujan dapat mencukupi kebutuhan air yang sangat dibutuhkan oleh semua makhluk hidup di muka bumi. Hujan terjadi melalui sebuah proses kondensasi uap air di atmosfer menjadi butiran-butiran air yang cukup berat untuk jatuh dan biasanya tiba di permukaan bumi. Hujan biasanya terjadi karena pendinginan suhu udara atau penambahan uap air di udara. Hal tersebut tidak lepas dari kemungkinan akan terjadi bersamaan. Indonesia memiliki daerah yang dilalui garis khatulistiwa dan sebagian besar daerah di Indonesia merupakan daerah tropis, walaupun demikian beberapa daerah di Indonesia memiliki intensitas hujan yang cukup besar. Curah hujan dipengaruhi oleh kondisi meteorologi seperti penguapan, kelembaban, kecepatan angin, suhu udara dan intensitas radiasi matahari. Oleh karena itu, curah hujan biasanya bervariasi menurut musim, lintang dan kondisi topografi suatu wilayah (Wibowo 2006).

Curah hujan 1 (satu) milimeter mempunyai arti yaitu dalam luasan satu meter persegi (m^2) pada tempat yang datar tertampung air setinggi 1 (satu) milimeter atau tertampung air sebanyak 1 (satu) liter atau 1000 ml. Sedangkan, intensitas curah hujan adalah jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu tertentu, yang biasanya dinyatakan dalam mm/jam, mm/hari, mm/tahun, dan sebagainya yang berturut-turut sering disebut hujan jam-jaman, harian, tahunan, dan sebagainya. Biasanya data yang sering digunakan untuk analisis adalah nilai maksimum, minimum dan nilai rata-ratanya. Untuk mempermudah dalam mengkategorikan jumlah curah hujan yang turun sampai ke muka bumi maka dilakukan klasifikasi curah hujan berdasarkan intensitas curah hujan baik secara nasional Tabel 2.1 maupun internasional Tabel 2.2. Dengan mengetahui data curah hujan kita dapat melakukan pengamatan di

suatu wilayah untuk pengembangan dalam bidang pertanian, perkebunan, perikanan, penerbangan, hingga untuk peringatan dini bencana alam yang disebabkan oleh faktor hujan.

Rata-rata jumlah curah hujan dan hari hujan menurut bulan di Provinsi Jawa Timur pada tahun 2016 dapat dilihat pada Tabel 2.3. Berdasarkan data yang ada jumlah curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Februari yaitu 589,6 mm³ dan bulan Oktober 501,7 mm³ sedangkan jumlah curah hujan terendah terdapat pada bulan Agustus yaitu 100,7 mm³ dan bulan November yaitu 52,6 mm³ (BPS Provinsi Jawa Timur 2017).

Tabel 2. 1 Klasifikasi Curah Hujan Menurut Standar Internasional WMO (Susilowati 2010)

Kategori	Keterangan
Sangat Ringan	< 5,0 mm/hari
Ringan	5,0 – 20 mm/hari
Sedang/ Normal	20 – 50 mm/hari
Lebat	50 – 100 mm/hari
Sangat Lebat	> 100 mm/hari

Tabel 2. 2 Klasifikasi Curah Hujan di Indonesia Menurut BMKG (BMKG 2010)

Kategori	Keterangan
Ringan	1 – 5 mm/jam; atau 5 – 20 mm/hari
Sedang	5 – 10 mm/jam; atau 20 – 50 mm/hari
Lebat	10 – 20 mm/jam; atau 50 – 100 mm/hari
Sangat Lebat	> 20 mm/jam; atau > 100 mm/hari

Tabel 2. 3 Jumlah Curah Hujan dan Hari Hujan Menurut Bulan di Provinsi Jawa Timur Tahun 2016 (BPS Provinsi Jawa Timur 2017)

Bulan	2016	
	Curah Hujan (mm ³)	Hari Hujan
Januari	167,1	22

Lanjutan Tabel 2.3 Jumlah Curah Hujan dan Hari Hujan Menurut Bulan di Provinsi Jawa Timur Tahun 2016

Bulan	2016	
	Curah Hujan (mm ³)	Hari Hujan
Februari	589,6	28
Maret	251,6	26
April	235,1	21
Mei	392,8	21
Juni	174,0	18
Juli	258,4	19
Agustus	100,7	10
September	120,8	14
Oktober	501,7	21
November	52,6	5
Desember	132,4	18

2.2 Alat Penakar Hujan

Alat penakar hujan adalah instrumen yang digunakan untuk mendapatkan dan mengukur jumlah curah hujan pada satuan waktu tertentu. Penakar hujan mengukur tinggi hujan seolah-olah air hujan yang jatuh ke tanah menumpuk ke atas merupakan kolom air. Air yang tertampung volumenya dibagi dengan luas corong penampung, hasilnya adalah tinggi atau tebal, Satuan yang dipakai pada alat penakar hujan menurut Sistem Internasional adalah milimeter (mm), yang merupakan penyingkatan dari liter per meter persegi. Sebagai salah satu instrumen dalam pengukuran gejala iklim, alat penakar hujan harus tahan setiap waktu terhadap pengaruh-pengaruh buruk cuaca sehingga ketelitiannya tidak berubah. Secara umum tipe alat penakar hujan ada 3 (tiga) yaitu:

a. **Penakar Hujan Konvensional**

Alat ini dikenal dengan nama penakar hujan obs/konvensional/ manual, sedangkan di kalangan pertanian dan pengairan biasa disebut juga dengan ombrometer. Penakar hujan

manual ini merupakan jejaring alat ukur cuaca terbanyak di Indonesia sehingga alat ini memiliki fungsi yang vital terhadap pendeteksian awal musim hujan dan kemarau secara nasional. Penempatan alat penakar hujan manual harus dipertimbangkan dari segi keamanan dan lokasi yang dipilih. Umumnya alat ini ditempatkan pada suatu wilayah dengan luasan tertentu pada lahan terbuka tanpa halangan. Penempatannya adalah setiap 1 (satu) penakar hujan manual mewakili luasan area 50 km² atau sampai radius 5 km. Luas corong penakar hujan adalah 100 cm² dengan tinggi corong penakar hujan adalah 120 cm dari permukaan tanah dan harus rata menurut bidang rata muka air dengan penyangga berupa tiang kayu, besi atau beton yang kokoh. Pengamatan curah hujan dengan alat ini dilakukan setiap hari pada pukul 07.00 waktu setempat dengan menggunakan gelas ukur hujan yang disusun dalam bentuk tabel data curah hujan harian. Pengamatan yang dilakukan merupakan pengamatan curah hujan di hari sebelumnya (Ansari 2008).

Adapun formula dalam perhitungan curah hujan menggunakan alat penakar hujan manual yaitu sebagai berikut:

$$CH = \frac{V_{CH}}{L_{Corong}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

CH = Curah hujan (mm)

V_{CH} = Volume curah hujan yang tertampung
(cm³ atau ml atau cc)

L_{Corong} = Luas corong penampung (cm²)

b. Penakar Hujan *Hillman*

Alat penakar hujan otomatis atau yang dikenal alat penakar hujan *Hillman* ini digunakan pada stasiun-stasiun pengamatan udara permukaan. Pengamatan dengan menggunakan alat ini dilakukan setiap hari pada jam-jam tertentu meskipun cuaca dalam keadaan baik/ hari sedang cerah. Alat ini mencatat jumlah curah

hujan yang terkumpul dalam bentuk garis vertikal yang tercatat pada kertas pias. Alat ini memerlukan perawatan yang cukup intensif untuk menghindari kerusakan-kerusakan yang sering terjadi. Hujan yang tertampung pada penakar hujan menggerakkan *shipon* (pelampung) yang dihubungkan pena, sehingga jika ada hujan tertampung, pena akan bergerak naik, meninggalkan jejak pias, jika sudah 10 ml air akan tumpah dan grafik kembali ke bawah. Pias tersebut diganti setiap hari pukul 07.00 LT atau 00.00 GMT. Dengan alat ini banyak data yang dapat dianalisis dari pias yang terekam seperti tinggi hujan harian, waktu datangnya hujan, derasness hujan atau lebatnya hujan per satuan waktu (Khairullah 2008).

c. **Penakar Hujan Typing Bucket**

Alat penakar hujan *Typing Bucket* merupakan penakar hujan yang menggunakan sistem penjungkit yang akan menghasilkan *typing* bila penjungkit telah terisi air dalam skala yang telah ditentukan. Prinsip kerja pada alat ini yaitu apabila hujan turun, maka air akan masuk melalui corong besar dan corong kecil, kemudian kapasitas curah hujan diukur dengan penghitungan jumlah tumpahan pada penampung berayun (*typing bucket*). Pada alat ini terdapat dua wadah yang diisi bergantian, setiap kali wadah terisi penuh maka alat ini akan tumpah pada satu sisinya. Dimana pada saat *bucket*-nya saling berjungkit, secara elektrik terjadi kontak dan menghasilkan keluaran nilai curah hujan yang *display*-nya dapat dilihat pada monitor. Alat ini umumnya di pasang pada sebuah pondasi dengan ketinggian 1,2 m dari atas permukaan tanah. Penakar hujan tipe *typing bucket*, nilai curah hujannya tiap *bucket* berjungkit tidak sama, serta luas permukaan corongnya beragam tergantung dari merk pembuatnya. Masing-masing penakar hujan yang berbeda merk, dan luas permukaan corongnya tersebut, berbeda pula nilai tiap jungkit/tip *bucket*-nya, misalnya ada yang 0,1 mm, 0,2 mm dan 0,5 mm (Khairullah 2008).



(a) Konvensional

(b) *Hillman***Gambar 2. 1** Alat Penakar Hujan (BMKG 2017)

Dalam penelitian Tugas Akhir ini, penulis menggunakan data curah hujan aktual yang berasal dari 30 pos penakar hujan terpilih BMKG yang tersebar di Provinsi Jawa Timur, sebagai berikut:

Tabel 2. 4 Koordinat Titik Pos Penakar Hujan Terpilih BMKG di Provinsi Jawa Timur (BMKG 2018)

No.	Jenis Stasiun	Provinsi	Kabupaten	Lintang (°)	Bujur (°)	Ketinggian (mdpl)
1	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Pacitan	-8,12389	111,1564	4
2	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Lamongan	-7,10139	112,1664	18
3	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Sumenep	-6,91667	113,9178	104
4	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Probolinggo	-7,85722	113,5081	337
5	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Tuban	-6,82722	111,8103	42
6	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Tulungagung	-8,11056	111,8956	135

Lanjutan Tabel 2.4 Koordinat Titik Pos Penakar Hujan Terpilih
BMKG di Provinsi Jawa Timur

No.	Jenis Stasiun	Provinsi	Kabupaten	Lintang (°)	Bujur (°)	Ketinggian (mdpl)
7	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Trenggalek	-8,18944	111,57 22	555
8	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Nganjuk	-7,64722	111,89 19	82
9	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Jember	-8,29944	113,67 42	71
10	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Sidoarjo	-7,38417	112,78 33	17
11	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Sumenep	-6,87973	115,46 28	0
12	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Malang	-8,15083	112,48 33	307
13	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Malang	-7,90139	112,59 67	575
14	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Banyuwangi	-8,065	114,23 69	2212
15	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Sampang	-6,92028	113,14 39	38
16	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Kediri	-7,76083	112,23 42	164
17	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Bangkalan	-7,02944	112,75 03	11
18	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Probolinggo	-7,86556	113,15 56	128
19	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Lumajang	-8,20056	113,29 56	33
20	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Bojonegoro	-7,24556	111,72 42	95
21	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Madiun	-7,58972	111,62 56	73
22	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Banyuwangi	-8,21028	114,36 94	0
23	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab. Gresik	-5,84389	112,64 58	0
24	Pos Hujan Kerjasama	Jawa Timur	Kab Tuban	-6,8229	111,99 18	5

2.3 Penginderaan Jauh untuk Lingkungan Atmosfer

Penginderaan jauh (*remote sensing*) adalah ilmu atau seni untuk memperoleh informasi tentang objek, daerah atau fenomena melalui analisis data yang diperoleh dengan menggunakan suatu alat tanpa kontak langsung dengan objek, daerah atau fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer 1990). Data penginderaan jauh dapat berupa citra, grafik dan data numerik. Data tersebut dapat dianalisis untuk mendapatkan informasi tentang objek daerah atau fenomena yang diteliti. Interpretasi citra atau penafsiran citra penginderaan jauh dilakukan untuk mengidentifikasi objek yang tergambar dalam citra dan menilai arti pentingnya objek tersebut.

Prinsip utama dari sistem penginderaan jauh adalah interaksi gelombang elektromagnetik dengan suatu objek. Energi elektromagnetik yang mengenai suatu objek akan mengalami tiga bentuk interaksi. Ketiga interaksi ini dapat ditulis dengan:

$$EI(\lambda) = ER(\lambda) + EA(\lambda) + ET(\lambda) \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

- EI = Energi EM yang mengenai objek
- ER = Energi EM yang dipantulkan objek
- EA = Energi EM yang diserap objek
- ET = Energi EM yang diteruskan objek
- λ = Panjang gelombang

Menurut Sukojo (2012), penginderaan jauh dibedakan menurut sistem energi yang digunakan yaitu:

a. Sistem Pasif

Dalam sistem pasif, sumber tenaga utama yang dibutuhkan oleh satelit berasal dari sumber lain yang tidak terintegrasi dalam wahana. Sumber tenaga yang dimaksud biasanya berupa energi yang berasal dari matahari. Beberapa wahana yang menggunakan sistem ini antara lain ASTER, LANDSAT, SPOT, IKONOS, QuickBird dan sebagainya.

b. Sistem Aktif

Dalam sistem aktif, sumber tenaga utama yang dibutuhkan oleh satelit berasal dari tenaga elektromagnetik yang dibangkitkan oleh sensor radar (*radio detection and ranging*) yang terintegrasi pada wahana tersebut. Beberapa wahana yang menggunakan sistem ini antara lain JERS, ADEOS, SAR, NOAA-AVHRR, MODIS dan sebagainya.

Teknik perekaman data pada sistem penginderaan jauh menggunakan sensor sebagai alat perekaman objek di bumi. Sensor tersebut dipasang pada wahana (*platform*) dan letaknya jauh dari objek yang diindera, sehingga diperlukan tenaga elektromagnetik yang dipancarkan atau dipantulkan oleh objek tersebut. Sensor terbatas kemampuannya dalam mengindera objek kecil di permukaan bumi. Batas kemampuan memisahkan setiap objek dinamakan resolusi. Resolusi citra satelit merupakan indikator tentang kemampuan sensor atau kualitas sensor dalam merekam objek. Menurut Purwadhi (2001), resolusi satelit sendiri terbagi menjadi lima (5), yaitu:

a. Resolusi Spasial

Merupakan ukuran objek terkecil yang masih dapat disajikan, dibedakan dan dikenali pada citra. Semakin kecil ukuran objek yang dapat direkam, maka semakin baik kualitas sensornya

b. Resolusi Spektral

Merupakan daya pisah objek berdasarkan besarnya spektrum elektromagnetik yang digunakan untuk perekaman data

c. Resolusi Radiometrik

Merupakan kemampuan sistem sensor untuk mendeteksi perbedaan pantulan terkecil kekuatan sinyal

d. Resolusi Temporal

Merupakan perbedaan kenampakan yang masih dapat dibedakan dalam waktu perekaman ulang

e. Resolusi Termal

Merupakan keterbatasan sensor yang merekam pancaran tenaga termal atau perbedaan suhu yang masih dapat dibedakan oleh sensor penginderaan jauh.

Aplikasi penginderaan jauh untuk lingkungan atmosfer dicirikan oleh arah orientasi analisis dari volume data satelit meteorologi dalam jumlah yang besar. Dengan kata lain, skala penelitian dalam aplikasi penginderaan jauh untuk lingkungan atmosfer ini berada pada skala global hingga regional (Barret 1974). Selain pertimbangan skala tersebut, ketersediaan data satelit cuaca untuk interval waktu yang pendek memberikan tiga pendekatan, yaitu (1) interpretasi visual atau bantuan komputer pola spasial citra dua dimensi asli; (2) analisis matematis pengukuran radiasi untuk memperoleh parameter meteorologi yang bermanfaat; (3) deteksi *trend* atau pola perubahan fenomena iklim dengan cara membandingkan data meteorologi satu dimensi atau dua dimensi (Lo 1996).

Perkembangan penginderaan jauh lingkungan atmosfer, khususnya dalam memprediksi curah hujan memunculkan banyak algoritma yang bervariasi. Pada dasarnya, instrumen dasar penginderaan jauh yang digunakan (seperti pada kejadian curah hujan) tidak berbeda dengan kajian penginderaan jauh di bidang lain, yaitu gelombang elektromagnetik bagian tampak (*visible*) dan inframerah (*infrared*) yang saling di-regresikan secara statistik (Hao Yan dan Song Yang 2007). Di sisi lain, masalah utama aplikasi penginderaan jauh untuk lingkungan atmosfer adalah melimpahnya data. Volume data satelit yang besar serta dikumpulkan setiap harinya, membutuhkan seleksi, reduksi dan penanganan otomatis dengan komputer (Lo 1996).

2.4 MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)

Citra MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) merupakan salah satu sensor yang dimiliki EOS (*Earth Observing System*) dan dibawa oleh dua wahana

NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) yaitu satelit Terra (EOS AM) dan satelit Aqua (EOS PM). Sensor MODIS pertama diluncurkan dari *Vandenberg Air Force Base, CA* pada tanggal 18 Desember 1999 dengan satelit Terra (mengorbit dari utara ke selatan) dan sensor MODIS kedua diluncurkan pada satelit Aqua (mengorbit dari selatan ke utara) pada tanggal 4 Mei 2002. Sensor MODIS melewati titik yang sama di bumi sekitar dua kali per hari. Satelit Terra dan Aqua mengorbit bumi pada arah yang berlawanan, dengan Terra melintasi khatulistiwa dari utara ke selatan di pagi hari sekitar jam 10.30 A.M dan Aqua melintasi khatulistiwa dari selatan ke utara di sore hari sekitar jam 13.30 P.M.

Data MODIS dapat digunakan untuk memantau berbagai masalah lingkungan dalam skala regional dengan resolusi spasial dan spektral yang lebih tinggi. Informasi yang dihasilkan dapat digunakan antara lain untuk: energi fluks radiasi, aerosol, tutupan lahan, dinamika vegetasi, temperatur, suhu permukaan laut dan konsentrasi klorofil (Mustofa 2009). Adapun spesifikasi teknis dari sensor MODIS dapat dilihat pada Tabel 2.5 berikut:

Tabel 2. 5 Spesifikasi Teknis Sensor MODIS
(NASA 2018 b)

Orbit	<i>705 km, 10:30 a.m. descending node (Terra) or 1:30 p.m. ascending node (Aqua), sun-synchronous, near-polar, circular</i>
Scan Rate	<i>20,3 rpm, cross track</i>
Swath Dimension	<i>2330 km (cross track) by 10 km (along track at nadir)</i>
Telescope	<i>17,78 cm diam. off-axis, afocal (collimated), with intermediate field stop</i>
Weight	<i>228,7 kg</i>
Size	<i>1,0 x 1,6 x 1,0 m</i>
Power	<i>162,5 W (single orbit average)</i>

Lanjutan Tabel 2.5 Spesifikasi Teknis Sensor MODIS

Data Rate	10,6 Mbps (<i>peak daytime</i>); 6,1 Mbps (<i>orbital average</i>)
Quantization	12 bits
Spatial Resolution	250m (<i>bands 1-2</i>) 500 m (<i>bands 3-7</i>) 1000 m (<i>bands 8-36</i>)
Design Life	6 years

Sensor MODIS menghasilkan resolusi radiometrik 16-bit per piksel dan menghasilkan citra digital dalam 36 kanal/ *band*, yaitu: biru (kanal 3), merah (kanal 1), hijau (kanal 4), *near-infrared* (kanal 2, 5, dan 16-19), SWIR (kanal 6 dan 7), *visible* (kanal 8-15), MWIR (kanal 20-26), dan TIR (kanal 27-36). Satelit MODIS memiliki sudut perekaman satelit (*Field of View*) sebesar $\pm 55^\circ$ dengan ketinggian orbit 705 km dan lebar sapuan sebesar 2330 km. Adapun karakteristik dari sensor MODIS dapat dilihat pada Tabel 2.6 berikut:

Tabel 2. 6 Karakteristik Sensor MODIS
(NASA 2018 b)

Band	λ (μm)	Resolusi Spasial (m)	Kegunaan Utama
Saluran Reflektan (Pantulan)			
1	0,620 - 0,670	250	Aerosol, Awan, Lahan
2	0,841 - 0,876	250	
3	0,459 - 0,479	500	Aerosol, Awan, Ketebalan Optis, Bentuk Awan, Masking Awan, Salju, Lahan/Tanah
4	0,545 - 0,565	500	
5	1,230 - 1,250	500	
6	1,628 - 1,652	500	
7	2,105 - 2,155	500	

Lanjutan Tabel 2.6 Karakteristik Sensor MODIS

Band	λ (μm)	Resolusi Spasial (m)	Kegunaan Utama
Saluran Reflektan (Pantulan)			
8	0,405 - 0,420	1000	Warna Laut, Klorofil, Fitoplankton, Biogeo-kimiawi
9	0,438 - 0,448	1000	
10	0,483 - 0,493	1000	
11	0,526 - 0,536	1000	
12	0,546 - 0,556	1000	Sedimen, Atmosfer
13	0,662 - 0,672	1000	
14	0,673 - 0,683	1000	Flouresense
15	0,743 - 0,753	1000	Aerosol Atmosfer
16	0,862 - 0,877	1000	
17	0,890 - 0,920	1000	Uap Air, Awan
18	0,931 - 0,941	1000	
19	0,915 - 0,965	1000	
26	1,360 - 1,390	1000	Awan Sirus
Saluran Radian (Pancaran)			
20	3,660 - 3,840	1000	Permukaan dan Awan, Suhu, Api dan Vulkanik, Suhu Muka Laut
21	3,929 - 3,989	1000	
22	3,929 - 3,989	1000	
23	4,020 - 4,080	1000	
24	4,433 - 4,498	1000	Suhu Atmosfer

Lanjutan Tabel 2.6 Karakteristik Sensor MODIS

Band	λ (μm)	Resolusi Spasial (m)	Kegunaan Utama
Saluran Radian (Pancaran)			
25	4,482 - 4,549	1000	Suhu Atmosfer
27	6,535 - 6,895	1000	Uap Air Troposfer
28	7,175 - 7,475	1000	
29	8,400 - 8,700	1000	Partikel Awan
30	9,580 - 9,880	1000	Total Kandungan Ozon
31	10,780 - 11,280	1000	Awan, Api, Suhu Permukaan
32	11,770 - 12,270	1000	
33	13,185 - 13,485	1000	Ketinggian Awan, Suhu, Tekanan, Profil Suhu/Temperatur
34	13,485 - 13,785	1000	
35	13,785 - 14,085	1000	
36	14,085 - 14,385	1000	

Pada citra MODIS, terdapat beberapa bagian atau level citra yang bisa di dapat, yaitu:

- a. Level 0 merupakan data mentah yang baru di dapat dari satelit.
- b. Level 1 merupakan data mentah ditambah dengan informasi tentang kalibrasi sensor dan *geolocation*. Level 1 terbagi menjadi dua, yaitu:
 - Level 1a mengandung informasi lebih yang dibutuhkan pada set data. Data ini digunakan untuk input *geolocation*, *calibration*, dan *processing*.
 - Level 1b adalah data yang telah mempunyai terapannya, hasil dari kalibrasi sensor pada level 1a.

- c. Level 2 merupakan data citra gabungan dari data level 1a dan 1b. Data level 2 menetapkan nilai geofisik pada tiap piksel, yang berasal dari perhitungan *raw radiance* level 1a dengan menerapkan kalibrasi sensor, koreksi atmosfer, dan algoritma bio-optik.
- d. Level 3 merupakan data citra yang telah terdapat semuanya seperti algoritma, koreksi, klasifikasi karena data hanya menampilkan nilai data yang dibutuhkan. Data ini merupakan data level 2 yang dikumpulkan dan dipaketkan dalam periode 1 hari, 3 hari, 8 hari, 1 bulan, dan 1 tahun.

2.5 **SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)**

SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) adalah satelit penginderaan jauh yang bertugas memperoleh data permukaan bumi menggunakan SAR (*Synthetic Aperture Radar*). SRTM merupakan hasil kerjasama antara NASA dan NGA untuk membuat peta *Digital Elevation Model* (DEM) secara global menggunakan interferometri. Instrumen SRTM terdiri dari *Spaceborn Imaging Radar-C* (SIR-C) yang dipasang pada satelit antariksa.

Petak-petak SRTM membentang dari 30° *off-Nadir* sampai dengan 58° Nadir dengan ketinggian 233 km, dan memiliki luas tiap petaknya 225 km. SRTM telah merekam hampir 1000 petak selama 10 hari operasi. Panjang dari petak-petak yang diperoleh dari beberapa ratus meter hingga beberapa ribu kilometer. SRTM diluncurkan pada 16 September 1999 dan beroperasi selama 11 hari. Instrumen ini telah dioperasikan secara optimal dan berhasil merekam 99.96% dari daratan yang ditargetkan paling tidak 1 kali, 94.59% dari daratan paling tidak dua kali perekaman, dan 50% daratan terekam tiga kali atau lebih (Mahmudi 2014). Spesifikasi sensor SRTM dapat dilihat pada Tabel 2.7 berikut ini:

Tabel 2. 7 Spesifikasi Sensor SRTM (Mahmudi 2014)

Spesifikasi	Keterangan
-------------	------------

Lanjutan Tabel 2.7 Spesifikasi Sensor SRTM

Spesifikasi	Keterangan
Peluncuran/Pendaratan	September 16/27 1999
Lama Misi	11 Hari
Proyek Mulai/Berakhir	Agustus 1996/Maret 2001
Berat Satelit	13.600 kg
Penggunaan Energi	900 kWh
Ketinggian Orbit	233 km
Inklinasi Orbit	57°
Petak Data Yang Diperoleh	1000 (80% keseluruhan daratan bumi)
Akuisisi Data	> 80 Jam
<i>Data Recording Rate</i>	180Mbps untuk C-band, 90 Mbps untuk X-band
Total Data Mentah Radar	9,8 <i>Terrabytes</i>

Data DEM SRTM memiliki proyeksi geografis. Data DEM SRTM disediakan dalam bentuk 16-bit biner raster sederhana. SRTM memiliki format data yang sama seperti format GRID lainnya, yaitu terdiri atas sel-sel yang setiap sel memiliki nilai ketinggian. Nilai ketinggian pada DEM SRTM adalah nilai ketinggian dari datum WGS 1984, bukan dari permukaan laut. Tetapi karena datum WGS 1984 hampir berimpit dengan permukaan laut, maka untuk skala tinggi dapat diabaikan perbedaan di antara keduanya. Datum vertikal DEM SRTM mengacu pada geoid (EGM 96) sehingga ketinggian pada DEM SRTM ini merupakan tinggi orthometrik. DEM SRTM memiliki elevasi dari -32767 sampai 32767 meter, berdasarkan rentang ketinggian yang ada di bumi. Spesifikasi dari data DEM SRTM dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut ini:

Tabel 2. 8 Spesifikasi Data SRTM (Mahmudi 2014)

Nama	Resolusi Spasial	Proyeksi
SRTM 1	30 meter	Geografis
SRTM 3	90 meter	Geografis

Lanjutan Tabel 2.8 Spesifikasi Data SRTM

Datum Horizontal	Datum Vertikal	Satuan Tinggi	Ukuran Sel
WGS 84	WGS 84 ; EGM 96 Geoid	Meter	0,00028
WGS 84	WGS 84 ; EGM 96 Geoid	Meter	0,00083

Pada penelitian Tugas Akhir ini, pengolahan citra DEM SRTM dilakukan hanya sebatas proses: *cropping*, *hillshading* dan klasifikasi ketinggian wilayah. Dalam klasifikasi ketinggian wilayah dilakukan sesuai dengan tingkat ketinggian wilayah pada Peta Provinsi Jawa Timur menurut Bakosurtanal Tahun 2003 yang terdiri dari 9 kelas yang dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut:

Tabel 2. 9 Klasifikasi Ketinggian Wilayah
(Bakosurtanal 2003)

Interval Ketinggian (m)	Jenis Wilayah
0 — 100	Dataran Rendah
100 — 250	
250 — 500	Dataran Sedang
500 — 1.000	
1.000 — 1.500	Dataran Tinggi
1.500 — 2.000	
2.000 — 2.500	
2.500 — 3.000	
> 3.000	

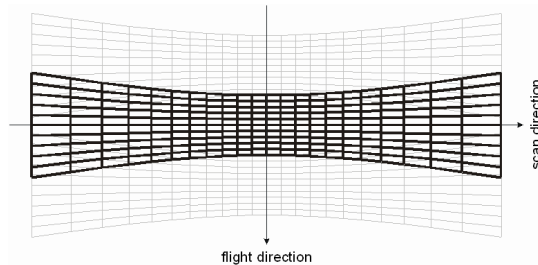
2.6 Pengolahan Data Citra

2.6.1 Koreksi Bow-Tie

Data mentah pada citra MODIS pada baris-baris tertentu terdapat kerusakan citra berupa duplikasi baris di bagian tertentu. Hal ini terjadi karena pada perangkat satelit terdapat peningkatan

Instantaneous Field Of View (IFOV) dari 1x1 km pada titik terendah (nadir) menjadi hampir mendekati 2x5 km pada sudut scan maksimum yaitu 55°. Pengaruh Bow-Tie terjadi ketika sensor pemindaian mencapai sudut 15°, besar sudut semakin meningkat akan menyebabkan semakin jelas efeknya (Wen, Liu, dkk. 2008).

Untuk memperbaiki kerusakan tersebut perlu dilakukan koreksi Bow-Tie untuk menghilangkan efek tersebut. Selanjutnya seluruh data pada citra asli akan ditransformasikan secara matematik ke citra akhir atau *resampling*. Dalam hal ini dibentuk piksel baru sebagai perbaikan pada piksel lama yang mengalami kerusakan yaitu dengan teknik “tetangga terdekat” (*nearest neighbour*). Teknik ini dilakukan dengan cara mengalihkan titik keabuan piksel yang telah terkoreksi dengan harga keabuan piksel tetangganya pada citra semula (Rumondang 2011).



Gambar 2. 3 Morfologi Efek Bow-Tie (Wen, Liu, dkk. 2008)

Pada Gambar 2.3 menunjukkan bahwa data yang dipengaruhi oleh efek Bow-Tie menempati sebagian samping dari gambar. Oleh karena itu, efek Bow-Tie harus dihapus sebelum aplikasi data MODIS dikeluarkan. Pemindaian pertama dan ketiga diwakili oleh grid abu-abu terang, sementara pemindaian lainnya ditampilkan dalam warna hitam (Wen, Liu, dkk. 2008).

2.6.2 Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik merupakan proses memposisikan citra sehingga cocok dengan koordinat peta dunia yang sesungguhnya. Posisi geografis citra pada saat pengambilan data dapat menimbulkan distorsi karena perubahan posisi dan juga ketinggian sensor. Dalam akuisisi citra satelit, distorsi ini akan bertambah seiring dengan perbedaan waktu pembuatan peta dan akuisisi citra serta kualitas dari peta dasar yang kurang baik. Akibat dari kesalahan geometrik ini, maka posisi piksel dari citra satelit tersebut tidak sesuai dengan posisi yang sebenarnya.

Untuk memperbaiki kesalahan geometrik yang terjadi, Mather (2004) mengelompokkan koreksi geometrik menjadi dua kategori, yakni: (1) model geometri orbital dan (2) transformasi berdasarkan titik kontrol di lapangan (*Ground Control Point* atau GCP). Transformasi GCP merupakan proses koreksi geometrik citra dengan cara membandingkan posisi yang berada pada citra, dengan posisi yang ada di lapangan/ peta yang sudah tersedia sebelumnya. *Ground Control Point* (GCP) adalah suatu lokasi pada permukaan bumi yang dapat diidentifikasi pada citra dan sekaligus dikenali posisinya pada peta.

Menurut Purwadhi (2001), koreksi geometrik mempunyai tiga tujuan yaitu (1) melakukan rektifikasi (pembetulan) atau restorasi (pemulihan) agar citra koordinat citra sesuai dengan koordinat geografi, (2) registrasi (mencocokkan) posisi citra dengan citra lain atau mentransformasikan sistem koordinat citra multispektral atau citra multitemporal, (3) registrasi citra ke peta atau transformasi sistem koordinat citra ke peta yang menghasilkan citra dengan sistem proyeksi tertentu. Dalam koreksi geometrik ini diisyaratkan nilai dari RMSE tidak lebih dari 1 piksel karena sebuah citra dapat dikatakan telah terkoreksi secara geometrik dengan baik apabila nilai $RMSE \leq 1$ piksel. Untuk mendapatkan nilai RMSE yang kecil maka peletakan titik GCP diusahakan menyebar dan merata disetiap wilayah penelitian agar citra dapat terkoreksi dengan baik secara menyeluruh.

2.6.3 Kalibrasi Radiometrik

Kalibrasi radiometrik merupakan proses untuk memperbaiki kualitas visual citra, dalam hal memperbaiki nilai piksel yang tidak sesuai dengan nilai pantulan atau pancaran spektral objek yang sebenarnya. Menurut Mather (2004), dipengaruhi oleh lima faktor yaitu: pantulan atau reflektansi objek, bentuk dan besaran interaksi atmosfer, kemiringan dan arah hadap lereng, sudut pandang sensor, dan sudut ketinggian matahari.

Citra satelit pada umumnya mengandung nilai *Digital Number* (DN) asli yang belum diproses berdasarkan nilai spektral radian sesungguhnya yang berdampak pada hasil informasi yang kurang akurat. Hal ini disebabkan oleh perbedaan nilai sudut perekaman, lokasi matahari, kondisi cuaca dan faktor pengaruh lainnya. Oleh karena itu perlu dilakukan kalibrasi radiometrik untuk memperbaiki nilai piksel dengan cara mengkonversi nilai DN menjadi nilai unit spektral reflektan (*reflectance*) atau disebut nilai pantulan dan spektral radian (*radiance*) atau disebut dengan nilai pancaran.

Pada citra MODIS Level 1B dilakukan kalibrasi radiometrik dengan menghitung nilai reflektansi (kanal 1 – 19 dan 26) dan nilai radian (kanal 20 – 25, 27 – 36 dan sensor zenith). Sesuai dengan nilai digital yang diperoleh dari citra MODIS Level 1B pada kanal 31 dan kanal 32 dikalibrasi menjadi nilai radian dengan formula sebagai berikut (Xiong, Toller, dkk. 2013):

$$L = L_Scale_i (Si_i - L_Offset_i) \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

- L = Nilai radian pada kanal i
- L_Scale_i = Skala radian pada kanal i
- L_Offset_i = Nilai *offset* radian pada kanal i
- Si_i = *Scale Integer* pada kanal i

Setelah didapatkan nilai radiansi, nilai radiansi tersebut diolah lebih lanjut untuk mendapatkan nilai suhu kecerahan (*Brightness Temperature*). Untuk memperoleh informasi berupa suhu kecerahan (*Brightness Temperature*) pada sensor MODIS menggunakan persamaan Planck (Darajat 2014), sebagai berikut:

$$T_b = C_2 / \left\{ \lambda_i * \ln \left(1 + \frac{C_1}{(\lambda_i^5 * L \lambda_i)} \right) \right\} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

- T_b = Suhu Kecerahan/ *Brightness Temperature* (°K)
 C_1 = Konstanta radiasi pertama, dengan nilai $1,1910659 \times 10^8$
 $[Wm^{-2} sr^{-1} (\mu m^{-1})^{-4}]$
 C_2 = Konstanta radiasi kedua, dengan nilai $1,438833 \times 10^4$
 $[\mu mK]$
 λ_i = Panjang gelombang pusat/ *Central Wavelength*, kanal 31
 (11,030 μm) dan untuk
 kanal 32 (12,020 μm)
 $L \lambda_i$ = Nilai radiansi pada kanal 31 atau Kanal 32
 $[Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}]$

Sedangkan untuk memperoleh nilai reflektansi dari citra MODIS Level 1B pada kanal 1, kanal 3 dan kanal 4 digunakan persamaan sebagai berikut (Xiong, Toller, dkk. 2013):

$$\rho = \rho_Scale_i (S_{i_i} - \rho_Offset_i) \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

- ρ = Nilai reflektansi pada kanal i
 ρ_Scale_i = Skala reflektansi pada kanal i
 ρ_Offset_i = Nilai *offset* reflektansi pada kanal i
 S_{i_i} = *Scale Integer* pada kanal i

2.6.4 Cloud Masking

Pada citra MODIS kanal 3 yang telah terkoreksi radiometrik merekam objek awan dan objek lain. Karena penelitian Tugas Akhir ini mengenai awan sehingga objek awan dengan objek lainnya perlu dipisahkan. Tutupan awan memiliki batas nilai 0,0 hingga 0,2. Oleh karena itu, proses *masking* dilakukan pada nilai diatasnya sehingga objek selain awan tidak ikut diolah menjadi suhu permukaan awan dan albedo awan (Darajat 2014). Berikut adalah persamaan yang digunakan dalam proses *masking* tutupan awan (Xiao, Boles, dkk. 2006):

$$[(\text{float}(\text{B3}) \text{ Ge } 0,2)*1]+[(\text{float}(\text{B3}) \text{ Lt } 0,2)*0].....(2.6)$$

Keterangan:

B3 = Kanal 3 dari data reflektansi

Ge = *Greater and equal* 0,2

Lt = *Less than* 0,2

2.6.5 Pemotongan Citra

Data satu *scene* citra pada MODIS mempunyai cakupan wilayah yang sangat luas, akan tetapi biasanya tidak semua data yang tercakup dalam satu *scene* citra tersebut dibutuhkan, maka sebaiknya dilakukan pemotongan citra (*cropping*). Hal ini bertujuan untuk memperkecil besar *file* yang digunakan sehingga pemrosesan data lebih cepat dilakukan dan efektif dan juga untuk mengetahui daerah mana yang dipilih. Pemotongan citra dapat dilakukan sebelum koreksi geometrik ataupun sesudah koreksi geometrik, tetapi sebaiknya pemotongan citra dilakukan setelah pengolahan karena dikhawatirkan ada perubahan nilai DN sebelum dipotong dan sesudah dipotong. Pemotongan citra ini dapat dilakukan dengan *me-subset* citra atau dengan menggunakan *region of interest* (ROI).

2.7 Suhu Permukaan Awan

Suhu permukaan dapat didefinisikan sebagai suhu bagian terluar dari suatu objek. Suhu permukaan benda tergantung dari sifat fisik permukaan objek, diantaranya yaitu emisivitas, kapasitas panas jenis, dan konduktivitas termal. Jika suatu objek memiliki emisivitas dan kapasitas panas jenis yang tinggi, sedangkan konduktivitas termalnya rendah maka suhu permukaan objek tersebut akan menurun, contohnya pada permukaan berupa perairan. Sedangkan jika suatu objek memiliki emisivitas dan kapasitas panas jenis yang rendah sedangkan konduktivitas termalnya tinggi maka suhu permukaan objek tersebut akan meningkat, contohnya pada permukaan berupa daratan (Sutanto 1994).

Suhu permukaan diperoleh dari suhu kecerahan yang diturunkan dari persamaan Planck. Suhu permukaan dengan mudah dapat diidentifikasi dengan memakai asumsi emisivitas sama dengan satu dimana sifat tersebut dimiliki oleh benda hitam. Benda hitam adalah objek yang menyerap seluruh radiasi elektromagnetik, kemudian menurut teori fisika klasik, objek tersebut juga haruslah memancarkan energi yang diserapnya. Oleh karena itu energi suatu benda dapat diukur. Suhu permukaan merupakan unsur pertama yang dapat diidentifikasi dari citra satelit termal. Suhu permukaan dapat didefinisikan sebagai suhu permukaan rata-rata dari suatu permukaan yang digambarkan dalam satuan piksel dengan berbagai tipe permukaan. Besarnya suhu permukaan dipengaruhi oleh panjang gelombang. Panjang gelombang yang paling sensitif terhadap suhu permukaan adalah inframerah termal. Oleh karena itu, kanal termal dari suatu satelit berfungsi untuk mencari suhu permukaan objek di permukaan

Menurut Coll, Caselles, dkk. (1994), suhu permukaan yang ditangkap oleh sensor satelit merupakan suhu lapisan atas awan sehingga untuk mendapatkan nilai suhu permukaan awan dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$SPA = Tb_{31} + A(Tb_{31} - Tb_{32}) + B \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

SPA = Suhu permukaan awan

Tb_{31} = Suhu kecerahan kanal 31 (°K)

Tb_{32} = Suhu kecerahan kanal 32 (°K)

$B = 0,51 + 40 (1-e) - pAe = 0,92$

$p = 50 \text{ K}$ (umumnya pada daerah tropis)

$Ae = /e_{31} - e_{32}/ = 0,001$

$A = 1,0 + 0,58 (Tb_{31} - Tb_{32})$

$e = (e_{31} + e_{32})/2$

e_{31} = Nilai emisivitas kanal 31 (0,989)

e_{32} = Nilai emisivitas kanal 32 (0,988)

Menurut Behrangi, Koulin, dkk. (2010), batas klasifikasi nilai SPA yang dihasilkan berdasarkan pada sistem klasifikasi awan bispektral. Nilai SPA dengan 4 klasifikasi, yaitu: (1) kurang dari 220,1 Kelvin; (2) 220,1 hingga 235 Kelvin; (3) 235,1 hingga 253 Kelvin; dan (4) lebih dari 253 Kelvin. Asumsi terhadap klasifikasi SPA tersebut, bahwa nilai SPA lebih dari 253 Kelvin (kelas ke-4) tidak memiliki potensi hujan, sehingga tidak diberikan warna sedangkan kelas lainnya diasumsikan memiliki potensi hujan. Adapun klasifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2. 10 Klasifikasi SPA (Behrangi, Koulin, dkk. 2010)

Suhu Permukaan Awan (K)	
	< 220,1
	220,1 – 235
	235,1 – 253
	> 253

2.8 Albedo

Albedo berasal dari bahasa Latin yaitu *albus* yang berarti putih. Albedo yaitu perbandingan antara radiasi gelombang pendek yang dipantulkan dengan yang datang dari semua spektrum panjang gelombang (Rumondang 2011).

$$\alpha = \frac{Rs\ out}{Rs\ in} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan:

α = Albedo

$Rs\ out$ = Radiasi gelombang pendek yang dipantulkan

$Rs\ in$ = Radiasi gelombang pendek yang datang

Albedo menunjukkan sifat kehitaman badan objek. Albedo mempunyai kisaran nilai 0 – 1. Bila suatu objek mempunyai nilai albedo = 0 maka objek tersebut mengabsorbsi seluruh radiasi gelombang pendek yang datang dan bila nilai albedo = 1 maka objek tersebut memantulkan seluruh radiasi gelombang pendek yang datang. Namun, tidak ada satu pun benda di alam semesta yang memiliki albedo bernilai 0 atau 1, yang ada hanya mendekati 0 dan 1. Semakin mendekati nilai nol maka kenampakan suatu objek semakin gelap dan semakin mendekati nilai satu maka kenampakan suatu objek semakin cerah (Rumondang 2011).

Awan memiliki albedo yang beragam tergantung banyaknya radiasi gelombang pendek yang dipantulkan dan di teruskan. Nilai albedo pada beberapa jenis awan dapat dilihat pada Tabel 2.11 berikut:

Tabel 2. 11 Albedo Pada Beberapa Jenis Awan (Stull 2000)

Albedo (%)	Jenis Awan
0,2 – 0,4	<i>Cirrus</i> (Ci)
0,4 – 0,5	<i>Stratus</i> (St)
0,7 – 0,95	Awan Tebal

Menurut Rumondang (2011), untuk menghitung nilai albedo awan dapat digunakan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{L_{\lambda} \pi D^2}{E_0 s u n_{\lambda_i} \cos (Q_s)} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

- L = Nilai spektral radiansi kanal reflektan
($\text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)
- D = Jarak astronomi Bumi – Matahari pada tanggal tertentu (AU)
- $E_0 \text{ sun } \lambda_i$ = Nilai rata-rata *solar spectral irradians* pada kanal i ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)
- $\cos (Q_s)$ = Sudut zenith matahari ($^\circ$)

Spektral radiansi merupakan kisaran nilai radiansi yang dipantulkan oleh objek sedangkan *solar spectral irradians* merupakan kisaran nilai radiansi yang sampai ke permukaan bumi per unit area per unit panjang gelombang.

Tabel 2. 12 Nilai Rata-Rata Solar Spectral Irradians Pada Kanal 1, Kanal 3 dan Kanal 4 Citra MODIS Level 1B (NASA 2018 a)

Kanal	TERRA	AQUA
	$E_0 (\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1})$	
1	1.606,17	1.608,05
3	2.087,94	2.088,17
4	1.865,94	1.865,27

Sudut zenith matahari merupakan sudut yang dibentuk antara garis normal dengan arah radiasi yang datang. Sudut zenith matahari akan berbeda setiap tanggal sehingga nilai albedo juga akan berbeda tiap tanggalnya. Nilai albedo pada citra MODIS Level 1B langsung dapat diperoleh pada kanal reflektan yaitu pada kanal 1, 3 dan 4. Adapun nilai albedo awan yang digunakan merupakan nilai rata-rata dari ketiga kanal tersebut.

Menurut Behrangi, Koulin, dkk. (2010), batas klasifikasi nilai ALB yang dihasilkan berdasarkan pada sistem klasifikasi awan bispektral. Nilai ALB dengan 4 klasifikasi, yaitu: (1) kurang dari 40 persen; (2) 40 hingga 54,9 persen; (3) 55 hingga 64,9 persen;

dan (4) lebih dari 64,9 persen. Asumsi terhadap klasifikasi ALB tersebut, bahwa nilai ALB sebesar 40 persen hingga lebih dari 64,9 persen memiliki potensi hujan. Sedangkan, nilai ALB kurang dari 40 persen (kelas ke-1) diasumsikan tidak memiliki potensi hujan, sehingga tidak diberikan warna. Adapun klasifikasi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.13.

Tabel 2. 13 Klasifikasi ALB (Behrangi, Koulin, dkk. 2010)

Albedo Awan (%)	
	< 40
	40 – 54,9
	55 – 64,9
	> 64,9

Asumsi terhadap 2 variabel antara Suhu Permukaan Awan dan Albedo Awan berdasarkan penelitian sebelumnya (Behrangi, Koulin, dkk. 2010) yang juga mengaitkan hubungan antara SPA dan ALB dengan ketinggian dan jenis awan. Pada Tabel 2.14 menjelaskan lebih detail tentang hubungan SPA dan ALB terhadap asumsi potensi curah hujan.

Tabel 2. 14 Hubungan SPA dan ALB terhadap Asumsi Curah Hujan (Behrangi, Koulin, dkk. 2010)

SPA (K)		ALB (%)		Asumsi Curah Hujan
Nilai	Kelas	Nilai	Kelas	
< 220,1	1	> 64,9	4	Berpotensi
220,1 – 235	2	55 – 64,9	3	Berpotensi
235,1 – 253	3	40 – 54,9	2	Berpotensi
> 253	4	< 40	1	Tidak Berpotensi

2.9 Estimasi Curah Hujan

Estimasi curah hujan dilakukan dengan menggunakan metode statistik regresi linier berganda. Metode ini membuat persamaan sederhana dalam mengestimasi curah hujan harian rata-rata

(sebagai variabel terikat) dalam kaitannya dengan suhu permukaan awan dan albedo awan (sebagai variabel bebas). Persamaan dasar yang digunakan merupakan persamaan matematis regresi linier berganda (Hasan 2013), yaitu:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + e \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

Y = Curah Hujan
 X_1 = Suhu Permukaan Awan/ SPA (K)
 X_2 = Albedo/ ALB (%)
 a, b_1, b_2 = Koefisien Regresi
 e = Faktor Galat (*Error Term*)

Model matematis hubungan antara curah hujan harian, albedo awan dan suhu permukaan awan yang diperoleh nantinya digunakan untuk mengetahui estimasi berapa besar nilai curah hujan dari data citra satelit MODIS.

2.10 Kondisi Atmosfer pada Saat Terjadinya Hujan

Dalam proses terjadinya hujan dipengaruhi oleh konveksi di atmosfer bumi dan lautan. Konveksi merupakan proses pemindahan panas oleh gerak massa suatu fluida dari suatu daerah ke daerah lainnya. Air-air yang terdiri dari air laut, air sungai dan sebagainya tersebut umumnya mengalami proses penguapan atau evaporasi akibat adanya bantuan dari panas sinar matahari. Air tersebut kemudian menjadi uap melayang ke udara dan akhirnya terus bergerak menuju langit bersama uap-uap air yang lain. Sesampai diatas, uap-uap mengalami proses pemadatan atau kondensasi sehingga terbentuklah awan. Akibat terbawa angin yang bergerak, awan-awan tersebut saling bertemu dengan partikel aerosol atmosfer dan kemudian menuju atmosfer bumi yang suhunya lebih rendah atau dingin dan akhirnya membentuk butiran es dan air. Karena terlalu berat dan tidak mampu lagi ditopang oleh

angin akhirnya butiran-butiran air tersebut jatuh ke permukaan bumi yang dikenal dengan presipitasi atau curah hujan (Tjasyono 2012).

Berdasarkan suhu lingkungan fisik atmosfer dimana awan tersebut berkembang, awan dibedakan atas awan dingin (*cold cloud*) dan awan hangat (*warm cloud*). Terminologi awan dingin diberikan untuk awan yang semua bagiannya berada pada lingkungan atmosfer dengan suhu di bawah titik beku ($< 0^{\circ}\text{C}$), sedangkan awan hangat adalah awan yang semua bagiannya berada diatas titik beku ($> 0^{\circ}\text{C}$). Awan dingin kebanyakan adalah awan yang berada pada daerah lintang menengah dan tinggi, dimana suhu udara dekat permukaan tanah saja bisa mencapai nilai $< 0^{\circ}\text{C}$. Di daerah tropis seperti halnya di Indonesia, suhu udara dekat permukaan tanah sekitar $20\text{-}30^{\circ}\text{C}$, dasar awan mempunyai suhu sekitar 18°C . Namun demikian puncak awan dapat menembus jauh ke atas melampaui titik beku, sehingga sebagian awan merupakan awan hangat, sebagian lagi diatasnya merupakan awan dingin. Awan semacam ini disebut awan campuran (*mixed cloud*).

2.11 Analisis Spasial

Menurut Aronoff (1989), Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem informasi yang didasarkan pada kerja komputer yang memasukkan, mengelola, memanipulasi dan menganalisa data serta memberi uraian. Kemampuan analisis dalam SIG memiliki peran yang sangat penting yang dikenal dengan istilah analisis spasial. Analisis spasial merupakan suatu teknik atau proses yang melibatkan sejumlah fungsi hitungan dan evaluasi logika matematis yang dilakukan terhadap data spasial dalam rangka untuk mendapatkan ekstraksi, nilai tambah, atau informasi baru yang juga beraspek spasial.

Dalam pengolahan data SIG, analisis spasial dapat digunakan untuk memberikan solusi-solusi atas permasalahan keruangan. Manfaat dari analisis spasial ini tergantung dari fungsi yang dilakukan, seperti: (a) membuat, memilih, memetakan dan

menganalisis data raster berbasis sel; (b) melaksanakan analisis data vektor/ raster yang terintegrasi; (c) memilih informasi dari beberapa *layer* data; (d) mengintegrasikan sumber data raster dengan data vektor. Adapun jenis-jenis analisis spasial sebagai berikut:

- a. *Query* basis data, *query* basis data digunakan untuk memanggil atau mendapatkan kembali atribut data tanpa mengganggu atau mengubah data yang sudah ada
- b. Pengukuran, fungsi pengukuran yang dimaksud yaitu:
 - Jarak. Pengukuran jarak yang dimaksud adalah menghitung jarak antar dua titik. Pengukuran jarak ini dapat dilakukan dengan mengklik kedua titik tersebut, atau dapat juga dengan menggunakan *query*.
 - Luas. Fungsi luas ini dapat digunakan untuk menghitung luas suatu wilayah unsur-unsur spasial. Wilayah tersebut dapat berupa poligon (vektor) ataupun juga wilayah yang bertipe raster.
 - Keliling. Fungsi keliling ini digunakan untuk menghitung keliling (parameter) unsur-unsur spasial. Unsur-unsur spasial tersebut dapat bertipe poligon (vektor) dan juga raster.
 - *Centroid*. Fungsi ini digunakan untuk menentukan koordinat titik pusat dari unsur-unsur spasial yang bertipe poligon (*raster*).
- c. Fungsi Kedekatan, fungsi kedekatan adalah sebuah fungsi untuk menghitung jarak dari suatu titik, garis, ataupun batas poligon. Salah satu fungsi kedekatan yang paling banyak digunakan adalah dengan *buffer*. *Buffer* adalah analisis spasial yang akan menghasilkan unsur-unsur spasial yang bertipe poligon.
- d. *Overlay*, *overlay* adalah bagian penting dari analisis spasial. *Overlay* dapat menggabungkan beberapa unsur spasial menjadi unsur spasial yang baru. Dengan kata lain, *overlay* dapat didefinisikan sebagai operasi spasial yang menggabungkan *layer* geografik yang berbeda untuk

mendapatkan informasi baru. *Overlay* dapat dilakukan pada data vektor maupun *raster*.

e. Perubahan Unsur-unsur Spasial

- *Union, Merge* atau *Combine*

Pada pengolahan data SIG, seringkali harus melakukan penggabungan antar unsur-unsur spasial. Penggabungan tersebut dapat menggunakan analisis spasial, yaitu *union*, *merge*, atau *combine*. Penggabungan ini dapat menjadikan beberapa unsur spasial menjadi satu unsur spasial saja tanpa mengubah beberapa unsur spasial yang digabungkan tersebut.

- *Delete, Erase* atau *Cut*

Fungsi analisis spasial ini digunakan untuk menghapus unsur-unsur spasial yang dirasa tidak perlu ditampilkan. Fungsi ini hanya akan menghapus unsur-unsur spasial yang terpilih saja.

- *Split* atau *Clip*

Fungsi analisis spasial ini bertujuan untuk menghasilkan unsur spasial baru dengan cara memotongnya dari unsur spasial lainnya.

- *Intersect*

Intersect adalah sebuah fungsi pada analisis spasial untuk menghasilkan unsur spasial baru dari dua atau lebih unsur spasial. Fungsi ini menghasilkan unsur spasial baru dari irisan dua atau lebih unsur spasial sebelumnya.

2.12 Analisis Statistik

2.12.1 Regresi Linier Berganda

Pengertian regresi secara umum adalah sebuah alat statistik yang memberikan penjelasan tentang pola hubungan (model) antara dua variabel atau lebih. Tujuan utama regresi adalah untuk membuat perkiraan nilai suatu variabel (variabel terikat) jika nilai variabel yang lain yang berhubungan dengannya (variabel lainnya) sudah ditentukan. Dalam analisis regresi dikenal 2 jenis variabel yaitu: (1) variabel respon disebut

juga variabel terikat yaitu variabel yang keberadaannya dipengaruhi oleh variabel lainnya dan dinotasikan dengan variabel Y dan (2) variabel prediktor disebut juga dengan variabel bebas yaitu variabel yang tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya dan dinotasikan dengan variabel X. Untuk mempelajari hubungan-hubungan antara variabel bebas maka regresi linier terdiri dari dua bentuk, yaitu: (1) analisis regresi sederhana (*simple analysis regressiom*) dan (2) analisis regresi berganda (*multiple analysis regression*) (Hasan 2013).

Regresi linier berganda adalah analisis regresi yang menjelaskan hubungan antara peubah respon (variabel terikat) dengan faktor-faktor yang mempengaruhi lebih dari satu prediktor (variabel bebas). Menurut Hasan (2013), bentuk umum persamaan regresi linier berganda dapat dituliskan sebagai berikut:

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n + e \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

Y = Variabel terikat

$a, b_1, b_2, \dots, b_n$ = Koefisien regresi

$X_1, X_2, \dots, X_n$ = Variabel bebas

e = Kesalahan pengganggu (*disturbance terma*), artinya nilai-nilai dari variabel lain yang tidak dimasukkan dalam persamaan. Nilai ini biasanya tidak dihiraukan dalam perhitungan.

a = Nilai Y , apabila $X_1 = X_2 = 0$

b_1 = Besarnya kenaikan/ penurunan Y dalam satuan, jika X_1 naik/turun satu satuan dan X_2 konstan

b_2 = Besarnya kenaikan/ penurunan Y dalam satuan, jika X_2 naik/turun satu satuan dan X_1 konstan

Nilai dari koefisien a, b_1, b_2 dapat ditentukan dengan metode kuadrat terkecil (*least square*) yaitu:

$$b_1 = \frac{(\sum x_2^2)(\sum x_1 y) - (\sum x_2 y)(\sum x_1 x_2)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 \sum x_2)^2} \dots\dots\dots (2.12)$$

$$b_2 = \frac{(\sum x_1^2)(\sum x_2 y) - (\sum x_1 y)(\sum x_1 x_2)}{(\sum x_1^2)(\sum x_2^2) - (\sum x_1 \sum x_2)^2} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$a = \frac{\sum Y - b_1 \sum X_1 - b_2 \sum X_2}{n} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

$$\sum x_1^2 = \sum X_1^2 - \frac{(\sum X_1)^2}{n} \dots\dots\dots (2.15)$$

$$\sum x_2^2 = \sum X_2^2 - \frac{(\sum X_2)^2}{n} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$\sum y^2 = \sum Y^2 - \frac{(\sum Y)^2}{n} \dots\dots\dots (2.17)$$

$$\sum x_1 y = \sum X_1 Y - \frac{(\sum X_1)(\sum Y)}{n} \dots\dots\dots (2.18)$$

$$\sum x_2 y = \sum X_2 Y - \frac{(\sum X_2)(\sum Y)}{n} \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\sum x_1 x_2 = \sum X_1 X_2 - \frac{(\sum X_1)(\sum X_2)}{n} \dots\dots\dots (2.20)$$

2.12.2 Uji Akurasi

Untuk mengetahui berapa besar keakuratan data hasil estimasi perlu diperlukan suatu uji akurasi. Uji akurasi dapat dilakukan dengan membandingkan data hasil estimasi curah hujan dari citra MODIS dengan data referensi dalam hal ini data curah hujan aktual yang di dapat dari pos penakar hujan yang tersebar di Provinsi Jawa Timur. Adapun formula yang digunakan untuk uji akurasi adalah sebagai berikut (Jaelani, Setiawan, & Matsushita 2015):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y_{esti,i} - y_{meas,i})^2}{N}} \dots\dots\dots(2.21)$$

Keterangan:

RMSE = *Root Mean Square Error*

y_{esti} = Data curah hujan hasil estimasi

y_{meas} = Data curah hujan hasil pengukuran aktual

N = Jumlah data

2.12.3 Uji Korelasi

Korelasi menunjukkan keeratan hubungan antara data hasil estimasi dengan data hasil pengukuran lapangan. Nilai korelasi berkisar antara (-1) sampai dengan 1. Korelasi yang terbaik antara kedua data adalah mendekati 1. Dalam hal ini dua buah variabel yang dikorelasikan akan berbanding lurus atau terbalik secara konsisten. Korelasi yang positif mengindikasikan dua buah variabel yang berbanding lurus secara konsisten, dalam arti kenaikan nilai pada satu variabel akan diikuti pula oleh kenaikan nilai di variabel yang lain. Sedangkan korelasi negatif mengindikasikan dua buah variabel yang berbanding terbalik, dalam arti kenaikan nilai di satu variabel akan diikuti secara konsisten dengan penurunan nilai di variabel yang kedua. Nilai korelasi 0 berarti tidak ada keterhubungan antara dua buah variabel (Hasan 2013).

Jika nilai koefisien korelasi (r) dikuadratkan akan menjadi koefisien determinansi (r^2) atau koefisien penentu yang menjelaskan besarnya pengaruh nilai suatu variabel (variabel X) terhadap naik/turunnya nilai variabel lainnya (variabel Y).

Menurut Hasan (2013), berikut ini adalah rumus untuk mencari koefisien korelasi dengan metode *least square*:

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{\{n(\sum X^2) - (\sum X)^2\}\{n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2\}}} \dots\dots\dots(2.22)$$

Keterangan:

- r = Koefisien korelasi antar variabel
 X = Variabel bebas (Curah hujan estimasi)
 Y = Variabel terikat (Curah hujan aktual)
 n = Jumlah pengamatan

Besar nilai r berkisar antara $-1 \leq r \leq 1$. Sedangkan arti harga r positif akan dijelaskan dalam Tabel 2.15 berikut:

Tabel 2. 15 Interpretasi Koefisien Korelasi (Hasan 2013)

Interval Koefisiensi	Interpretasi
0,90 – 1,00	Korelasi sangat tinggi; hubungan yang sangat diandalkan
0,70 – 0,90	Korelasi tinggi; hubungan ditandai
0,40 – 0,70	Korelasi sedang; hubungan substansional
0,20 – 0,40	Korelasi rendah; hubungan yang pasti tapi kecil
< 0,20	Korelasi sangat rendah; hubungan hampir diabaikan

2.13 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang estimasi curah hujan, khususnya dengan data penginderaan jauh, telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Widodo dan Gunawan (1998), menggunakan data Satelit Cuaca GMS-5 melalui persamaan regresi berganda untuk estimasi curah hujan. Metode dalam penelitian tersebut yaitu menggabungkan variabel terikat (curah hujan) dengan variabel tak terikat (suhu permukaan awan dan albedo awan) untuk dijadikan persamaan regresi linier berganda serta estimasi curah hujan. Penelitian yang dilakukan selama bulan Oktober, November 1996 dan Januari hingga Maret 2007 di Bandung tersebut, menghasilkan korelasi antara suhu permukaan awan, albedo awan dan curah hujan sebesar 87,3% dengan koefisien determinasi 76,2%.

Buana (2012), melakukan penelitian dengan menggabungkan variabel suhu permukaan awan dan albedo awan untuk digunakan sebagai persamaan estimasi curah hujan melalui citra TERRA MODIS. Penelitian tersebut dilakukan di sebagian daerah Jawa Tengah pada tahun 2001 hingga tahun 2011. Metode yang

digunakan untuk menghasilkan persamaan dalam penelitian tersebut yaitu regresi linier berganda. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai curah hujan estimasi memiliki tingkat keakuratan yang sangat bervariasi dari data lapangan (Dinas Pertanian). Akurasi rata-rata berkisar antara 48% sampai 78% dengan akurasi rata-rata daerah Jawa Tengah sebesar 67%. Hasil ini cukup baik karena akurasinya diatas 60%.

Darajat (2014), memanfaatkan data penginderaan jauh berupa citra TERRA MODIS untuk mengindetinfikasi pola curah hujan di Provinsi Jawa Timur. Penelitian ini menggunakan data *time series*, yaitu pada saat tahun terjadinya *el-nino* (2009/2010) serta dibandingkan dengan tahun normal (2003/2004). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah ekstraksi suhu permukaan awan (SPA) dan albedo awan (ALB) dari citra TERRA MODIS serta curah hujan dari stasiun hujan untuk memperoleh persamaan regresi linier berganda. Informasi SPA menggunakan dua jenis algoritma sebagai perbandingan yaitu algoritma SPA 1 dan algoritma SPA 2. Persamaan regresi yang dihasilkan yaitu persamaan A (SPA 1 dan ALB) dan persamaan B (SPA 2 dan ALB). Hasil akhir dari penelitian menunjukkan bahwa beberapa algoritma berisi informasi SPA dan ALB dapat digunakan sebagai parameter pendukung nilai estimasi curah hujan. Perbandingan curah hujan pada kondisi *el-nino* cenderung terlihat lebih kecil intensitasnya serta pola distribusi yang lebih tidak merata pada daerah kajian, jika dibandingkan dengan kondisi normal. Tingkat validasi curah hujan estimasi memiliki nilai tidak lebih dari 60% serta menunjukkan pola yang cenderung *over-estimate* terhadap data hujan dari stasiun hujan.

Untuk dapat memahami perbandingan dari penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.16:

Tabel 2. 16 Daftar Penelitian Terdahulu

Penulis/Judul	Tujuan	Metode	Hasil
---------------	--------	--------	-------

Lanjutan Tabel 2.16 Daftar Penelitian Terdahulu

Penulis/Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Widodo, Heru. 1998. <i>Pemanfaatan Data Satelit Cuaca GMS untuk Estimasi Curah Hujan di Kabupaten Bandung Jawa Barat dan sekitarnya.</i> Thesis. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.	1. Mempelajari kemampuan satelit cuaca GMS-5 untuk menyadap data albedo dan temperatur puncak awan 2. Mencari hubungan antara albedo dan temperatur puncak awan dengan curah hujan yang terjadi 3. Menyusun model matematik untuk estimasi besarnya curah hujan wilayah menggunakan albedo dan temperatur puncak awan dari data satelit cuaca GMS-5.	Regresi Berganda, Variabel Terikat (Curah Hujan), Variabel Tak Terikat (SPA dan Albedo Awan).	1. Satelit cuaca GMS-5 dapat dipakai dengan baik untuk menyadap data SPA melalui nilai indeks kecerahan pada citra GMS-5 2. Hubungan kecerahan antara SPA dan ALB terhadap curah hujan cukup tinggi yaitu menghasilkan korelasi antara suhu permukaan awan, albedo awan dan curah hujan sebesar 87,3% dengan koefisien determinasi 76,2% 3. Satelit cuaca GMS-5 dapat digunakan untuk pembuatan model estimasi curah hujan dengan pengukuran nilai ALB dan SPA.

Lanjutan Tabel 2.16 Daftar Penelitian Terdahulu

Penulis/Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Buana, F. Indra. 2012. <i>Estimasi Curah Hujan Menggunakan Citra MODIS di Sebagian Daerah Jawa Tengah</i> . Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.	1. Estimasi curah hujan yang terjadi dengan analisis suhu permukaan awan dan nilai albedo awan 2. Mengetahui tingkat keakuratan data curah hujan yang disadap dari citra MODIS dengan data curah hujan acuan (Dinas Pertanian).	SPA + Albedo, Regresi Berganda.	1. Curah hujan estimasi memiliki pola yang sangat sama dengan data curah hujan lapangan 2. Akurasi rata-rata berkisar antara 48% sampai 78% dengan akurasi rata-rata daerah Jawa Tengah sebesar 67%.
Rif'at Darajat. 2014. <i>Identifikasi Pola Curah Hujan pada Kondisi El-Nino melalui Citra MODIS di Propinsi Jawa Timur</i> . Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.	1. Mengetahui algoritma yang dapat memberikan informasi suhu permukaan awan (SPA) dan albedo awan (ALB) sebagai parameter pendukung nilai curah hujan (estimasi) melalui pengolahan citra satelit MODIS 2. Membandingkan pola curah hujan (estimasi) yang ditunjukkan pada kondisi <i>el-nino</i> dengan kondisi normal	Ekstraksi Suhu Permukaan Awan (SPA) dan Albedo melalui beberapa algoritma, Regresi Linier Berganda, Uji akurasi dengan data stasiun hujan.	1. Tabel dan grafik perbandingan antara pola curah hujan hasil estimasi pengolahan citra satelit MODIS dengan data lapangan (stasiun hujan)

Lanjutan Tabel 2.16 Daftar Penelitian Terdahulu

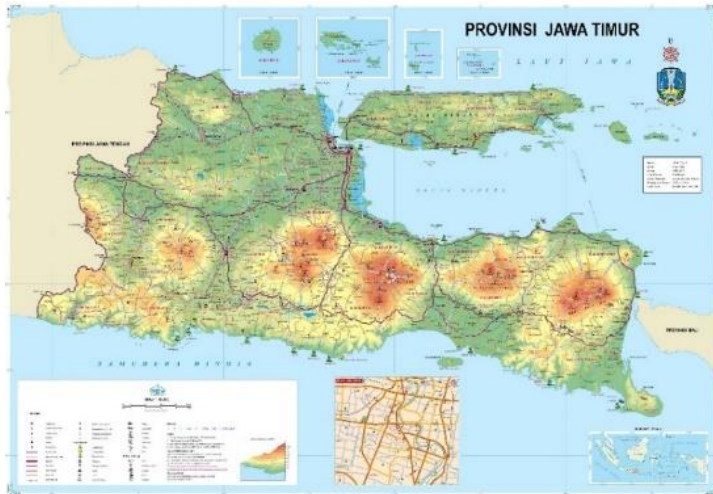
Penulis/Judul	Tujuan	Metode	Hasil
Rif'at Darajat. 2014. <i>Identifikasi Pola Curah Hujan pada Kondisi El-Nino melalui Citra MODIS di Propinsi Jawa Timur</i> . Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.	3. Mengetahui validasi hasil identifikasi pola curah hujan (estimasi) menggunakan citra Penginderaan Jauh dibandingkan dengan data lapangan.		2. Perbandingan curah hujan pada kondisi el-nino cenderung terlihat lebih kecil intensitasnya serta pola distribusi yang lebih tidak merata pada daerah kajian, jika dibandingkan dengan kondisi normal 3. Tingkat validasi curah hujan estimasi memiliki nilai tidak lebih dari 60% serta menunjukkan pola yang cenderung <i>over-estimate</i> terhadap data hujan dari stasiun hujan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian Tugas Akhir ini dilakukan di Provinsi Jawa Timur yang terletak pada $7,12^{\circ} - 8,48^{\circ}$ LS ; $111,0^{\circ} - 114,4^{\circ}$ BT. Luas wilayah Provinsi Jawa Timur mencapai $47.799,75 \text{ km}^2$ terbagi menjadi 38 Kabupaten atau Kota (29 Kabupaten dan 9 Kota). Provinsi Jawa Timur berbatasan dengan Laut Jawa di utara, Selat Bali di timur, Samudra Hindia di selatan, serta Provinsi Jawa Tengah di barat. Wilayah Jawa Timur juga meliputi Pulau Madura, Pulau Bawean, Pulau Kangean serta sejumlah pulau-pulau kecil di Laut Jawa dan Samudera Hindia diantaranya Pulau Sempu dan Nusabarung (BPS Provinsi Jawa Timur 2017). Adapun lokasi penelitian Tugas Akhir ini dapat dilihat pada peta yang ada pada Gambar 3.1 berikut:



Gambar 3. 1 Peta Provinsi Jawa Timur
(Bakosurtanal 2003)

3.2 Data dan Peralatan

3.2.1 Data

Adapun data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

- a. Data citra satelit MODIS Level 1B untuk tanggal 26, 27 dan 28 pada bulan Oktober, November dan Desember Tahun 2017 di Provinsi Jawa Timur dalam format (.hdf) yang dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Tabel Data Citra MODIS Level 1B
(LAADS DAAC 2018)

No.	Nama File	Tanggal Akuisisi	Waktu Akuisisi	Satelit
1	MYD021KM.A2017299.0550.061.2017299160311.hdf	26 Oktober 2017	12.50 PM	AQUA
2	MYD021KM.A2017300.0630.061.2017300193257.hdf	27 Oktober 2017	13.30 PM	AQUA
3	MYD021KM.A2017301.0535.061.2017301154853.hdf	28 Oktober 2017	12.35 PM	AQUA
4	MYD021KM.A2017330.0645.061.2017330193707.hdf	26 November 2017	13.45 PM	AQUA
5	MYD021KM.A2017331.0550.061.2017331195340.hdf	27 November 2017	12.50 PM	AQUA
6	MYD021KM.A2017332.0630.061.2017332192619.hdf	28 November 2017	13.30 PM	AQUA
7	MOD021KM.A2017360.0225.061.2017360132312.hdf	26 Desember 2017	09.25 AM	TERRA
8	MYD021KM.A2017361.0600.061.2017361194036.hdf	27 Desember 2017	13.00 PM	AQUA
9	MOD021KM.A2017362.0215.061.2017362133343.hdf	28 Desember 2017	08.15 AM	TERRA

- b. Data curah hujan aktual (harian) pada bulan Oktober, November dan Desember Tahun 2017 di Provinsi Jawa Timur
- c. Data DEM SRTM 90 m Provinsi Jawa Timur dalam format (.tif)

- d. Peta Vektor Batas Administrasi Provinsi Jawa Timur Tahun 2010 dalam format (.shp)

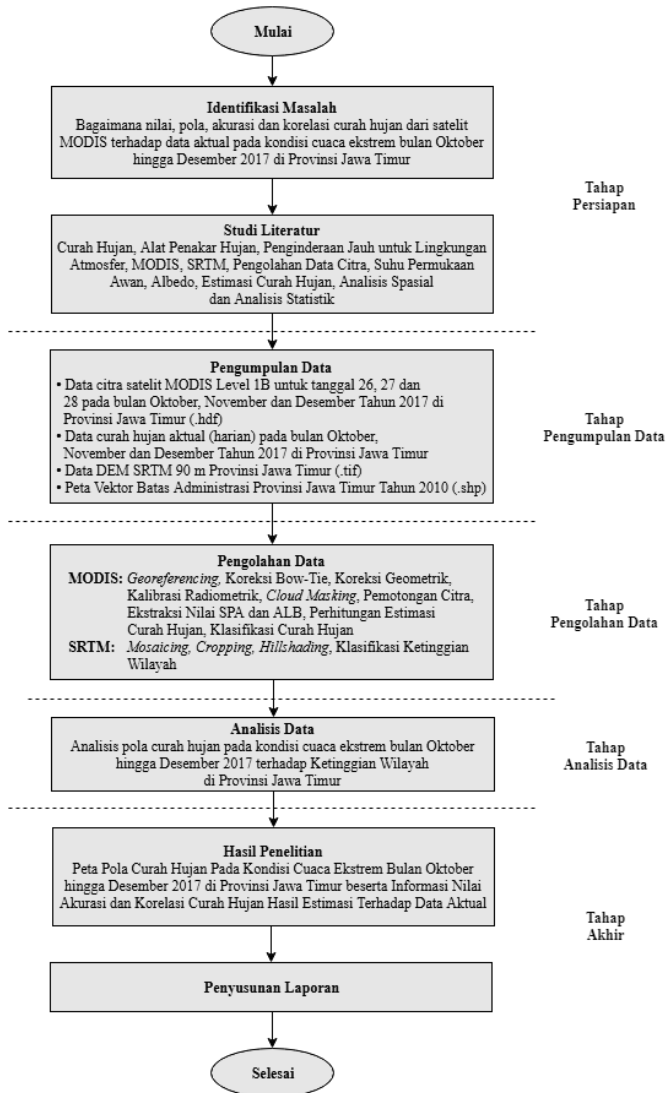
3.2.2 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

- a. Perangkat Keras (*Hardware*)
 - Laptop HP Pavilion 14-ab133TX untuk pengolahan data, analisis data, dan pembuatan laporan
- b. Perangkat Lunak (*Software*)
 - ArcGIS 10.5 for Desktop
 - ENVI 5.1 dan ENVI Classic
 - Microsoft Office 2016 (Ms. Word, Ms. Excel, Ms. PowerPoint)
 - Google Chrome
 - SPSS Statistics 22

3.3 Metodologi Penelitian

Tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah seperti pada Gambar 3.2 berikut:



Gambar 3. 2 Diagram Alir Tahapan Penelitian Tugas Akhir

Berikut adalah penjelasan diagram alir tahapan penelitian Tugas Akhir:

3.3.1 Tahap Persiapan

Kegiatan pada tahap persiapan meliputi:

a. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan yang diangkat sebagai topik penelitian, objek penelitian dan daerah penelitian serta merumuskan cara untuk memecahkan permasalahan tersebut. Adapun permasalahan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah bagaimana nilai, pola, akurasi dan korelasi curah hujan dari satelit MODIS terhadap data aktual pada kondisi cuaca ekstrem bulan Oktober hingga Desember 2017 di Provinsi Jawa Timur.

b. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan referensi penelitian yang akan dilakukan. Adapun studi literatur yang dipelajari yaitu metode pengolahan data citra MODIS untuk menentukan nilai Suhu Permukaan Awan (SPA) dan Albedo Awan (ALB) dalam menentukan pola curah hujan dengan metode regresi linier berganda, pengolahan data citra SRTM dalam menentukan ketinggian wilayah serta perhitungan nilai akurasi dan korelasi dari nilai curah hujan hasil estimasi dari citra MODIS terhadap data aktual.

3.3.2 Tahap Pengumpulan Data

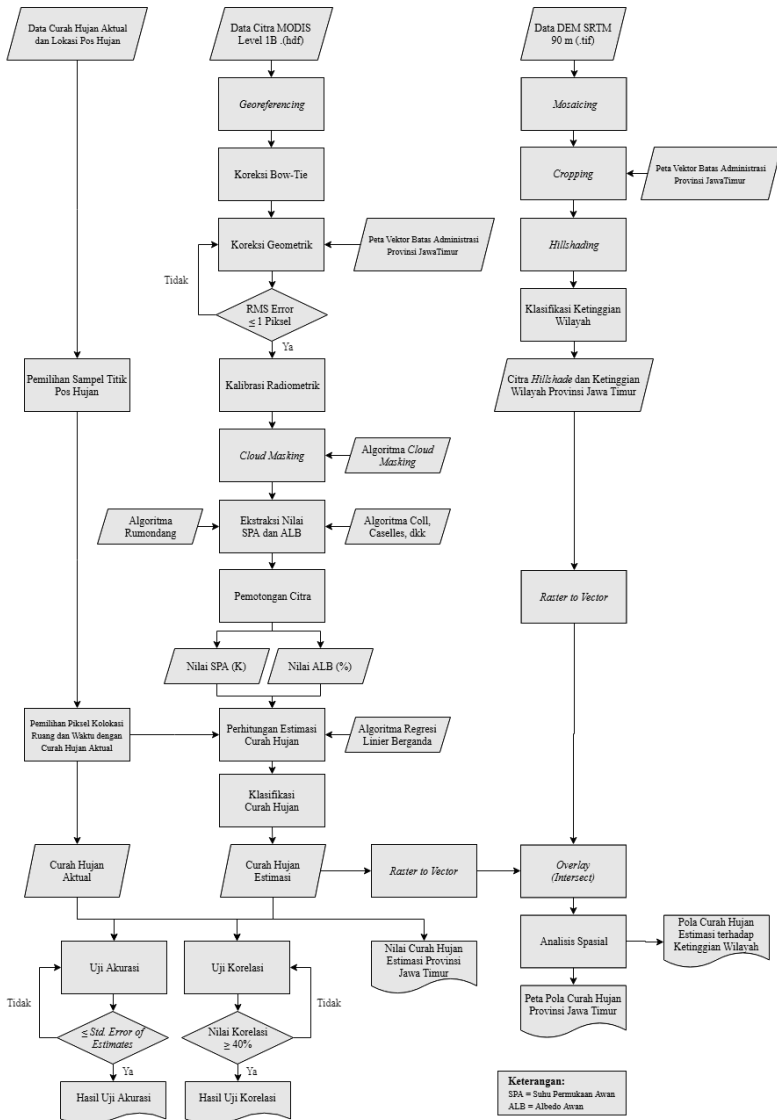
Pengumpulan data dilakukan untuk mengumpulkan segala data pendukung dalam penelitian Tugas Akhir. Adapun data yang diolah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

- a. Data citra satelit MODIS Level 1B dalam format (.hdf) untuk tanggal 26, 27 dan 28 pada bulan Oktober, November dan Desember Tahun 2017 di Provinsi Jawa

- Timur yang dapat diunduh di <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>
- b. Data curah hujan aktual (harian) pada bulan Oktober, November dan Desember Tahun 2017 di Provinsi Jawa Timur yang diperoleh dari Pusat Data dan Informasi Stasiun Meteorologi Klas I (BMKG Juanda)
 - c. Data DEM SRTM 90 m dalam format (.tif) Provinsi Jawa Timur yang dapat diunduh dari <http://srtm.csi.cgiar.org/Index.asp>
 - d. Peta vektor batas administrasi Provinsi Jawa Timur tahun 2010 dalam format (.shp) yang dapat diunduh dari <http://tanahair.indonesia.go.id>

3.3.3 Tahap Pengolahan Data

Adapun diagram alir pengolahan data pada penelitian Tugas Akhir seperti Gambar 3.3 berikut:



Gambar 3. 3 Diagram Alir Tahapan Pengolahan Data

Berikut adalah penjelasan dari diagram alir pengolahan data yang dilakukan:

A. Pengolahan Data Citra

a. MODIS

i. *Georeferencing*

Merupakan proses untuk membuat citra sesuai dengan keadaan sebenarnya yang ada di bumi. Proses *georeference* MODIS pada program ENVI 5.1 intinya yaitu menentukan proyeksi peta yang digunakan, pada penelitian Tugas Akhir ini proyeksi yang digunakan adalah geografis lintang-bujur dengan datum WGS84. *Ground Control Point* (GCP) yang digunakan sebagai acuan dalam proses georeferensi menggunakan parameter sensor citra tersebut.

ii. Koreksi Bow-Tie

Pada citra satelit MODIS dilakukan proses koreksi Bow-Tie untuk memperbaiki bagian data citra yang mengalami *overlap* yang terjadi karena terdapat peningkatan *Instantaneous Field of View* (IFOV) dari 1x1 km pada titik terendah (nadir) menjadi hampir mendekati 2x5 km pada sudut *scan* maksimum.

iii. Koreksi Geometrik

Pada citra satelit MODIS dilakukan proses koreksi geometrik untuk meregistrasi citra dengan menempatkan posisi piksel pada citra sedemikian rupa sehingga diperoleh citra dengan kenampakan sesuai dengan kenyataan sebenarnya. Untuk mengecek hasil dari proses koreksi dilakukan perhitungan RMS Error pada citra. Nilai RMS Error yang dapat diterima sebagai syarat apabila ≤ 1 piksel. Apabila melebihi maka proses penentuan GCP diulangi kembali. Jumlah titik GCP yang digunakan pada

penelitian Tugas Akhir ini sebanyak 28 titik yang menyebar diseluruh Provinsi Jawa Timur.

iv. Kalibrasi Radiometrik

Pada citra satelit MODIS dilakukan proses kalibrasi radiometrik untuk memperbaiki nilai-nilai piksel pada citra agar sesuai dengan nilai pantulan (*reflectance*) atau pancaran (*radiance*) spektral kenyataan yang sebenarnya. Kalibrasi dilakukan dengan menghitung nilai reflektan (kanal 1 – 19 dan 26) dan nilai radian (kanal 20 – 25, 27 – 36 dan sensor zenith). Setelah didapatkan nilai radian dan nilai reflektan citra kemudian diolah lebih lanjut untuk mendapatkan suhu kecerahan awan (*Brightness Temperature*) pada kanal 31 dan kanal 32.

v. *Cloud Masking*

Pada citra MODIS kanal 3 yang telah terkoreksi dalam nilai reflektan merekam objek awan dan objek lain. Untuk mempermudah pengolahan selanjutnya dilakukan pemisahan wilayah yang tertutup awan dan tidak. Tutupan awan memiliki batas nilai 0,0 hingga 0,2. Oleh karena itu, proses *masking* dilakukan pada nilai diatasnya sehingga objek selain awan tidak diolah menjadi suhu permukaan awan dan albedo.

vi. Ekstraksi Nilai SPA dan ALB.

Setelah didapatkan nilai radian, nilai reflektan dan kecerahan awan (*Brightness Temperature*) pada proses kalibrasi radiometrik. Dilanjutkan dengan pengolahan Suhu Permukaan Awan (SPA) pada kanal 31 dan kanal 32 lalu pengolahan Albedo Awan (ALB) pada kanal 1, kanal 3 dan kanal 4.

vii. Pemotongan Citra

Setelah objek kajian dipisahkan sesuai dengan objek awan maka dilanjutkan dengan proses *cropping* cakupan area agar dihasilkan citra SPA dan ALB sesuai dengan wilayah kajian.

viii. Perhitungan Estimasi Curah Hujan

Estimasi curah hujan dilakukan dengan menggunakan metode statistik regresi linier berganda dengan ketentuan curah hujan harian sebagai variabel terikat sedangkan Suhu Permukaan Awan (SPA) dan Albedo Awan (ALB) sebagai variabel tak terikat. Nilai estimasi curah hujan dapat diperoleh melalui persamaan regresi linier berganda yang dihasilkan dengan memasukkan variabel-variabel yang telah ditentukan sebelumnya.

Data pengolahan dari citra MODIS (SPA dan ALB) dan data curah hujan aktual yang telah dianggap mewakili, tidak seluruhnya kemudian digunakan untuk memperoleh persamaan regresi linier berganda. Karena data curah hujan aktual yang digunakan untuk memperoleh persamaan harus kolokasi ruang dan waktu, maka lokasi tanpa tutupan awan (N/A) tidak dapat digunakan untuk menyusun persamaan regresi linier berganda. Data curah hujan aktual yang kosong (bukan nol/tidak terjadi hujan) juga tidak dapat digunakan untuk memperoleh persamaan regresi linier berganda.

ix. Klasifikasi Curah Hujan

Klasifikasi curah hujan dilakukan sesuai dengan Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 untuk mempermudah interpretasi nilai curah hujan yang dihasilkan dari pengolahan citra MODIS.

b. SRTM

i. *Mosaicing*

Pada tahap awal dilakukan proses mosaicing yaitu menggabungkan beberapa *scene* citra DEM SRTM yang terpisah untuk menghasilkan satu *scene* citra DEM Provinsi Jawa Timur yang utuh.

ii. *Cropping*

Cropping citra DEM digunakan untuk mendapatkan cakupan wilayah yang sesuai dengan daerah penelitian dan mempermudah dalam pemrosesan data.

iii. *Hillshading*

Hillshading digunakan untuk mempresentasikan gambaran relief sebuah wilayah pada sebuah data raster yang masih dalam format 2D dengan cara memberikan kesan 3D pada data raster tersebut. Pemberian kesan 3D tersebut dilakukan dengan cara pemberian teknik pencahayaan dan bayangan yang tepat pada sebuah data raster. Hasil pada proses ini memperlihatkan tampilan topografi wilayah pada daerah penelitian secara seolah-olah 3D

iv. Klasifikasi Ketinggian Wilayah

Pada tahap ini dilakukan klasifikasi setiap ketinggian dalam beberapa kelas mengacu pada Tabel 2.9.

B. Pengolahan Data Aktual

Pada pengolahan data aktual dilakukan pemilihan titik sampel pos hujan untuk mempermudah perhitungan regresi linier berganda, uji akurasi dan uji korelasi hasil nilai curah hujan dari satelit dengan data curah hujan aktual.

C. Pengolahan Data Statistik

a. Uji Akurasi

Setelah didapatkan nilai hasil estimasi curah hujan selanjutnya dilakukan uji akurasi untuk mengetahui berapa besar keakuratan data curah hujan hasil estimasi terhadap data curah hujan lapangan (harian) dari pos hujan di Provinsi Jawa Timur. Jika nilai akurasi yang dihasilkan $\leq$ nilai *Std. Error of Estimate* yang dihasilkan dari pengolahan regresi linier berganda maka data dianggap akurat dan sesuai.

b. Uji Korelasi

Uji korelasi digunakan untuk mengukur eratnya hubungan antara nilai curah hujan harian hasil estimasi dengan nilai curah hujan aktual dari pos hujan di Provinsi Jawa Timur. Jika nilai korelasi yang dihasilkan $\geq 40\%$ maka data dianggap memiliki hubungan dan sesuai.

D. Pengolahan Peta Pola Persebaran Curah Hujan

Setelah semua data selesai diolah maka dilakukan proses *overlay* data berupa data citra curah hujan estimasi dengan data citra *hillshade* dan ketinggian wilayah untuk selanjutnya dilakukan proses analisis spasial. Analisis ini berdasarkan pada kondisi topografi wilayah di Provinsi Jawa Timur untuk mengetahui nilai curah hujan estimasi di tiap-tiap wilayah dengan kondisi topografis yang berbeda-beda. Pada tahap terakhir dilakukan proses *layouting* untuk menghasilkan Peta Pola Curah Hujan di Provinsi Jawa Timur.

E. Analisis Spasial

Pada proses ini dilakukan analisis secara spasial yaitu berupa perhitungan luasan wilayah kelas curah hujan estimasi terhadap kelas ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur. Dengan menggunakan *tools geoprocessing* yaitu *Intersect* pada ArcGIS 10.5 guna mendapatkan wilayah kelas curah

hujan estimasi yang telah berpotongan dengan wilayah kelas ketinggian wilayah. Hasil akhir pada proses ini berupa sebaran luas wilayah di tiap-tiap kelas yang disajikan dalam tabel.

3.3.4 Tahap Akhir

Tahap ini merupakan tahap terakhir yaitu penyusunan laporan yang akan merangkum segala tahapan dan hasil akhir pada penelitian Tugas Akhir yang dilakukan.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB IV

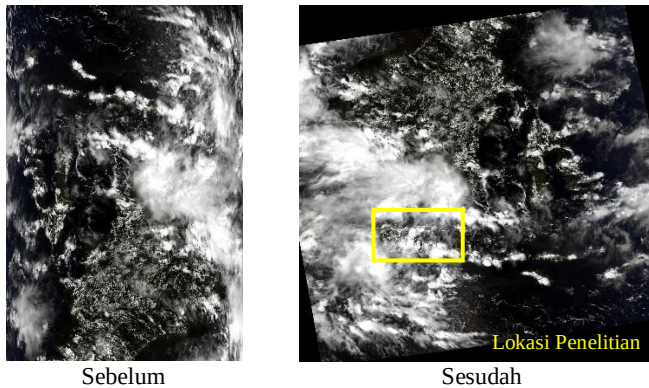
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengolahan Citra MODIS untuk Estimasi Curah Hujan

Pemilihan data MODIS dimaksudkan untuk mendapatkan citra AQUA MODIS maupun TERRA MODIS yang mencakup daerah penelitian dan yang memiliki penutupan awan karena data yang diolah nantinya merupakan wilayah yang tertutup oleh awan. Dalam penelitian Tugas Akhir ini digunakan citra satelit dengan kurun waktu tertentu (temporal) untuk mendapatkan perubahan pola curah hujan sesuai dengan kondisi tertentu yaitu cuaca ekstrem. Oleh karena itu digunakan data yang mewakili kondisi tersebut yaitu pada bulan Oktober, November dan Desember tahun 2017. Adapun daftar data citra AQUA MODIS dan TERRA MODIS yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.1.

4.1.1 Georeferencing

Data mentah pada citra MODIS Level 1B yang sebelumnya dalam format *Hierarchical Data Format* (.hdf) masih terdapat kerusakan citra berupa duplikasi baris di bagian tertentu. Hal ini terjadi karena pada perangkat satelit terdapat peningkatan *Instantaneous Field Of View* (IFOV) dari 1x1 km pada titik terendah (nadir) menjadi hampir mendekati 2x5 km pada sudut scan maksimum yaitu 55°. Untuk memperbaiki efek tersebut dilakukan suatu koreksi Bow-Tie yang terdapat pada proses *Georeferencing* pada perangkat pengolah citra ENVI Classic.



Gambar 4. 1 Tampilan Citra AQUA-MODIS pada 27 November 2017, Sebelum dan Sesudah *Georeferencing*

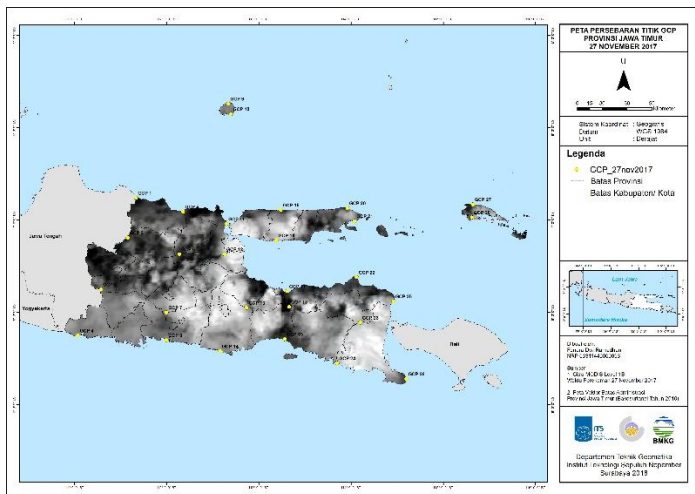
Penentuan sistem proyeksi dan datum yang digunakan juga dilakukan pada proses *Georeferencing*. Pada penelitian Tugas Akhir ini proyeksi geografis yang digunakan adalah Lat/Lon atau Lintang/Bujur dengan datum yaitu WGS1984. Untuk *Ground Control Point* (GCP) yang digunakan sebagai acuan dalam proses *Georeferencing* menggunakan parameter dari masing-masing sensor citra yang terpilih. Selanjutnya seluruh data pada citra asli akan ditransformasikan secara matematik ke citra akhir atau *resampling*. Dalam hal ini dibentuk piksel baru sebagai perbaikan pada piksel lama yang mengalami kerusakan yaitu dengan teknik “tetangga terdekat” (*nearest neighbour*). Teknik ini dilakukan dengan cara mengalihkan titik keabuan piksel yang telah terkoreksi dengan harga keabuan piksel tetangganya pada citra semula.

Pada tahap ini juga dilakukan pemilihan kanal/ *band* yang digunakan untuk pengolahan selanjutnya yang bertujuan untuk mengurangi beban dalam proses pengolahan sehingga proses pengolahan dapat lebih cepat dan efisien.

4.1.2 Koreksi Geometrik

Pada pengolahan koreksi geometrik dilakukan dengan metode registrasi: *Image to Map*. Peta vektor batas administrasi Provinsi Jawa Timur tahun 2010 digunakan sebagai *base map* dalam proses ini. Dalam melakukan koreksi geometrik digunakan 28 titik kontrol GCP (*Ground Control Point*) yang tersebar menyeluruh di wilayah Provinsi Jawa Timur. Pada penelitian Tugas Akhir ini, lokasi titik GCP berbeda pada masing-masing citra sehingga menghasilkan nilai RMSE yang berbeda pula.

Hasil akhir pada proses koreksi geometrik yaitu citra MODIS yang telah disesuaikan dengan koordinat dan lokasi sebenarnya sesuai dengan peta vektor yang digunakan, beserta dengan nilai RMSE (*Root Mean Square Error*) yang didapatkan dari pengolahan menggunakan *software* ENVI Classic. Gambar 4.2 menunjukkan persebaran titik GCP yang digunakan dalam pengolahan citra AQUA MODIS pada tanggal 27 November 2017. Untuk persebaran titik GCP pada citra lainnya dapat dilihat pada Lampiran 4.



Syarat yang harus dipenuhi dalam koreksi geometrik adalah nilai RMSE ≤ 1 piksel. Sehingga pemilihan lokasi titik GCP berpengaruh terhadap nilai total RMSE yang dihasilkan. Tabel 4.1 menunjukkan nilai RMSE dari keseluruhan citra MODIS yang diolah dari hasil koreksi geometrik.

Tabel 4. 1 Hasil Nilai RMSE pada Citra MODIS

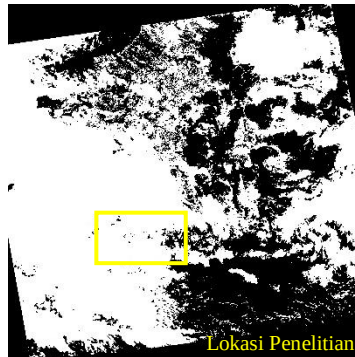
No.	Satelit	Tanggal Akuisisi	RMSE (Piksel)
1	AQUA	26 Oktober 2017	0,020924
2	AQUA	27 Oktober 2017	0,020264
3	AQUA	28 Oktober 2017	0,022762
4	AQUA	26 November 2017	0,018796
5	AQUA	27 November 2017	0,018674
6	AQUA	28 November 2017	0,013881
7	TERRA	26 Desember 2017	0,015494
8	AQUA	27 Desember 2017	0,011127
9	TERRA	28 Desember 2017	0,013420

Berdasarkan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa kesembilan citra tersebut memiliki nilai RMSE kurang dari 1 piksel. Sehingga nilai tersebut memenuhi syarat dan sesuai dengan ketentuan yang dijadikan referensi (Purwadhi 2001).

4.1.3 Cloud Masking

Energi radiasi matahari yang datang ke permukaan bumi, sebagian ada yang diserap oleh permukaan dan ada juga yang dilepaskan oleh permukaan dalam bentuk emisi termal. Nilai emisi yang dilepas oleh permukaan yang tertutup oleh awan bukanlah nilai emisi sebenarnya yang dilepaskan oleh permukaan daratan, tetapi nilai tersebut merupakan nilai emisi yang dihasilkan oleh permukaan awan. Pemisahan awan menggunakan emisi dari permukaan bumi, sangat sulit untuk membedakan karakteristik awan dan daratan. Oleh karena itu, pemisahan penutupan awan yang baik dapat dilakukan melalui pendekatan nilai albedo atau nilai reflektannya menggunakan kanal reflektan 1, 4, dan 3. Tutupan awan memiliki

batas nilai 0,0 hingga 0,2, sehingga proses *masking* dilakukan pada nilai diatas 0,2 sehingga objek selain awan tidak ikut diolah menjadi suhu permukaan awan dan albedo awan.



Gambar 4. 3 Hasil Tampilan *Cloud Masking* pada Kanal Reflektan (*Band 3*) 27 November 2017

Hasil tampilan dari *cloud masking* dapat dilihat pada Gambar 4.3, terlihat citra terdiri dari dua warna utama yaitu hitam dan putih. Warna putih menandakan bahwa wilayah tersebut tertutup oleh awan dan warna hitam menandakan wilayah yang tidak tertutup oleh awan. Adapun nilai statistik dari *cloud masking* dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Statistik *Cloud Masking* pada Kanal Reflektan (*Band 3*) 27 November 2017

<i>Basic Stats</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Mean</i>	<i>Stdev</i>	
<i>Band 3</i>	0	1	0,569496	0,495147	
<i>Histogram</i>	<i>DN</i>	<i>Npts</i>	<i>Total</i>	<i>Percent</i>	<i>Acc Pct</i>
<i>Band 3</i>	0	10233276	10233276	43,0504	43,0504
	1	13537152	23770428	56,9496	100,0000

Dari Tabel 4.2, didapatkan nilai DN yaitu 0 dan 1 yang berarti wilayah tutupan awan diwakili oleh nilai 1 dan wilayah yang tidak tertutup awan diwakili oleh nilai 0. Sedangkan nilai

diluar *scene* citra yang berwarna hitam tidak terolah dalam proses ini karena dianggap bernilai NaN (*Not a Number*) agar tidak mempengaruhi nilai hasil statistik akhir. Hasil dari *scene* citra *cloud masking* ini diterapkan (*Apply Mask* pada ENVI Classic) pada setiap kanal yang digunakan agar didapatkan kanal-kanal dengan wilayah yang mempunyai tutupan awan saja.

4.1.4 Kalibrasi Radiometrik

Pada produk data MODIS L1B, masing-masing nilai ($L\lambda$) atau radiansi (energi radiasi yang diterima permukaan bumi per satuan luas) pada piksel diekspresikan pada format *32-bit floating point*. Penulisan dalam format *floating point* ke file produk L1B akan membuat ukuran file menjadi besar. Oleh karena itu, MCST (MODIS Characterization Support Team), menulis produk L1B ke dalam format *16-bit scaled integer* untuk merepresentasikan dari kalibrasi sinyal yang diukur oleh sensor MODIS (Xiong, Toller, dkk. 2013).

Nilai radiansi dapat dihitung dari dua istilah yaitu *radiance scale* dan *radiance offset* yang tertulis pada *attribute emissive band* di *Scientific Data Sets* (SDS) sesuai dengan persamaan (2.3). Sedangkan nilai reflektansi dapat dihitung dari dua istilah yaitu *reflectance scale* dan *reflectance offset* yang tertulis pula pada *attribute reflectance band* di *Scientific Data Sets* (SDS) sesuai dengan persamaan (2.5). Selanjutnya untuk menghitung suhu kecerahan (*brightness temperature*) dapat menggunakan persamaan (2.4) yaitu mengkonversi nilai radiansi yang telah di dapat sebelumnya. Pada perhitungan nilai radiansi kanal yang digunakan adalah kanal 31 dan kanal 32, sedangkan pada perhitungan nilai reflektansi kanal yang digunakan adalah kanal 1, kanal 3 dan kanal 4.

Pada ENVI Classic, file MODIS Level 1B sudah terbaca secara otomatis ke dalam nilai *radiance*, *reflectance*, dan *emissive radiance*, sehingga pengolahan kalibrasi radiometrik hanya sebatas pada konversi nilai *emissive radiance* menjadi suhu kecerahan (*brightness temperature*).

Hasil statistik nilai radiansi, nilai reflektansi dan nilai suhu kecerahan dari kanal-kanal yang digunakan (27 November 2017) dapat dilihat pada Tabel 4.3 hingga Tabel 4.6 berikut:

Tabel 4. 3 Hasil Statistik Nilai Radiansi pada Kanal Reflektan (Band 1;4;3)

<i>Basic Stats</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Mean</i>	<i>Stdev</i>
<i>Band 1</i>	38,994770	572,875916	231,183343	106,509063
<i>Band 4</i>	136,534119	783,435547	326,348404	129,140325
<i>Band 3</i>	-1,000000	597,179993	271,575486	117,773671

Tabel 4. 4 Hasil Statistik Nilai Reflektansi pada Kanal Reflektan (Band 1;4;3)

<i>Basic Stats</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Mean</i>	<i>Stdev</i>
<i>Band 1</i>	0,074176	1,089720	0,439755	0,202601
<i>Band 4</i>	0,200000	1,147604	0,478047	0,189169
<i>Band 3</i>	-1,000000	0,979305	0,445327	0,193183

Tabel 4. 5 Hasil Statistik Nilai Radiansi pada Kanal *Emissive Radiance* (Band 31;32)

<i>Basic Stats</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Mean</i>	<i>Stdev</i>
<i>Band 31</i>	0,434690	9,140365	3,470701	2,050051
<i>Band 32</i>	0,554124	8,312744	3,336293	1,819889

Tabel 4. 6 Hasil Statistik Nilai *Brightness Temperature* pada Kanal *Emissive Radiance* (Band 31;32)

<i>Basic Stats</i>	<i>Min</i>	<i>Max</i>	<i>Mean</i>	<i>Stdev</i>
<i>Band 31</i>	154,823257	242,478943	201,544649	19,235960
<i>Band 32</i>	154,395325	237,276688	197,599147	18,257441

4.1.5 Ekstraksi Nilai SPA dan ALB

Dalam mengekstrak nilai SPA dari suatu citra, diperlukan nilai *brightness temperature* dari kanal *emissive radiance* yaitu kanal 31 dan kanal 32. Pengolahan SPA dilakukan sesuai dengan

algoritma SPA (Persamaan 2.7) dengan kombinasi kanal 31 dan kanal 32 dan nilai emisivitas masing-masing kanal (Coll, Caseless, dkk. 1994). Menurut Behrangi, dkk (2010) , nilai SPA yang didapat dalam satuan Kelvin selanjutnya dilakukan klasifikasi kelas SPA ke dalam empat kelas sesuai dengan Tabel 2.10.

Sedangkan dalam ekstraksi nilai ALB dari suatu citra, diperlukan nilai radiansi dari kanal reflektan yaitu kanal 1, kanal 3 dan kanal 4. Pengolahan ALB dilakukan sesuai dengan algoritma ALB (Persamaan 2.9) dan dirata-rata untuk menghasilkan nilai ALB gabungan. Menurut Behrangi, dkk (2010), nilai ALB yang didapat dalam satuan persen (%) selanjutnya dilakukan klasifikasi kelas ALB ke dalam empat kelas sesuai dengan Tabel 2.13.

Beberapa parameter pada tiap-tiap citra MODIS yang digunakan dalam perhitungan albedo awan dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut:

Tabel 4. 7 Parameter Nilai Perhitungan Albedo Awan

No.	Satelit	Tanggal Akuisisi	<i>Solar Zenith (degrees)</i>	<i>Earth Sun Distance (AU)</i>
1	AQUA	26 Oktober 2017	29,775102	0,99410099
2	AQUA	27 Oktober 2017	29,854285	0,99382383
3	AQUA	28 Oktober 2017	29,500980	0,99356616
4	AQUA	26 November 2017	31,018707	0,98691207
5	AQUA	27 November 2017	31,985530	0,98673981
6	AQUA	28 November 2017	28,568744	0,98655987
7	TERRA	26 Desember 2017	30,439179	0,98348081
8	AQUA	27 Desember 2017	26,634997	0,98343396
9	TERRA	28 Desember 2017	26,464904	0,98340380

Berikut adalah nilai sebaran SPA dan ALB sesuai dengan titik pos hujan terpilih di Provinsi Jawa Timur pada 27 November 2017 pada Tabel 4.8. Untuk sebaran nilai SPA dan ALB pada citra lainnya dapat dilihat pada Lampiran 1.

Tabel 4. 8 Nilai Sebaran SPA dan ALB pada Citra AQUA MODIS 27 November 2017

No.	Pos Hujan	SPA (K)	ALB (%)
1	Arjosari	184,457	0,692
2	Babat	233,172	0,810
3	Batu Putih Laok	211,826	0,707
4	Batur	222,187	0,759
5	Belikanget	218,085	0,386
6	Boyolangu	220,634	0,587
7	Dongko	183,850	0,680
8	Jatirejo	211,812	0,870
9	Jatisari	209,144	0,737
10	Juanda	169,995	1,020
11	Kangayan	200,550	0,777
12	Karangkates	215,630	0,855
13	Karangploso	163,776	0,894
14	Kawah Ijen	215,754	1,013
15	Kembang Jeruk/Banyuates	190,161	0,523
16	Klampisan/Kencong	180,608	0,806
17	Kraton/Bangkalan	163,280	0,921
18	Legundi/Bantaran	191,615	0,688
19	Nogosari	247,203	0,281
20	Setren	256,050	0,285
21	Sidomulyo II /Sarangan	240,735	0,524
22	Stamet Banyuwangi	182,102	0,876
23	Stamet Bawean	213,390	0,545
24	Stamet Tuban	225,272	0,337
25	Stamet Perak II	163,057	1,024
26	Stasiun Meteorologi Kalianget Madura	N/A	N/A
27	Sumber Beras	176,828	0,968
28	Tanjung Sari	216,248	0,426
29	Watutulis	185,689	0,729
30	Wilangan	205,447	0,629

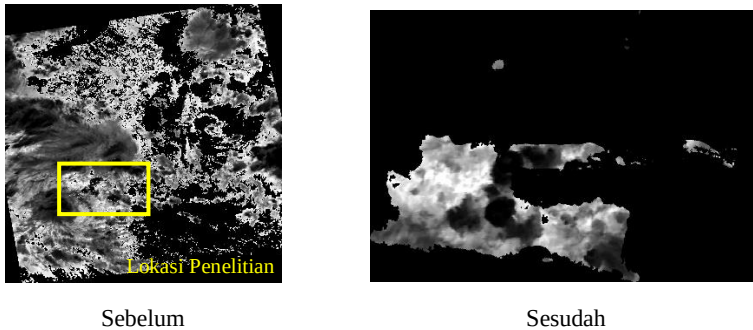
Keterangan:

N/A = *Not Available*

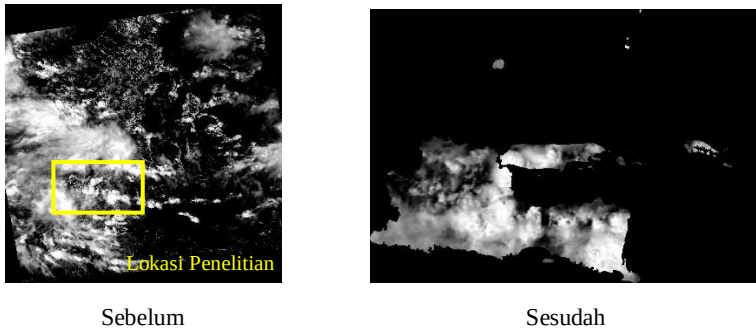
Nilai sebaran SPA dan ALB yang diekstrak dari tiap-tiap titik pos hujan di Provinsi Jawa Timur bervariasi di setiap tanggal perekaman citra. Pada beberapa titik pos hujan didapat nilai N/A yang berarti pada titik tersebut tidak terdapat piksel yang memiliki nilai SPA dan ALB. Ada tidaknya piksel pada suatu citra tersebut terjadi karena beberapa hal diantaranya karena hasil proses pemotongan citra sesuai dengan wilayah kajian, tidak tertutupnya wilayah kajian oleh awan dan *scene* citra yang tidak sepenuhnya menutupi wilayah kajian.

4.1.6 Pemotongan Citra

Pemotongan citra dilakukan agar pengolahan citra terbatas hanya pada area studi, sehingga hasil pengolahan lebih akurat. Proses ini dilakukan dengan menggunakan *resize* data maupun subset data via ROI (*Region of Interest*) dalam *software* pengolah citra ENVI Classic. Dalam penelitian Tugas Akhir ini, Provinsi Jawa Timur merupakan area penelitian sehingga citra dipotong untuk area Provinsi Jawa Timur saja. Hasil pemotongan (*cropping*) pengolahan citra MODIS dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 berikut:



Gambar 4. 4 Tampilan Citra SPA pada 27 November 2017, Sebelum dan Sesudah Pemotongan Citra



Gambar 4. 5 Tampilan Citra ALB pada 27 November 2017, Sebelum dan Sesudah Pemotongan Citra

4.1.7 Data Curah Hujan Estimasi untuk Persamaan Regresi Linier Berganda

Data curah hujan estimasi diperoleh melalui citra MODIS serta data curah hujan aktual (lapangan). Penelitian Tugas Akhir ini menggunakan data yang mengkaji 3 bulan terakhir pada tahun 2017 yaitu bulan Oktober, November dan Desember. Secara spesifik, tanggal kejadian hujan yang dipilih yaitu sesuai dengan kondisi ekstrem yang terjadi pada tahun tersebut.

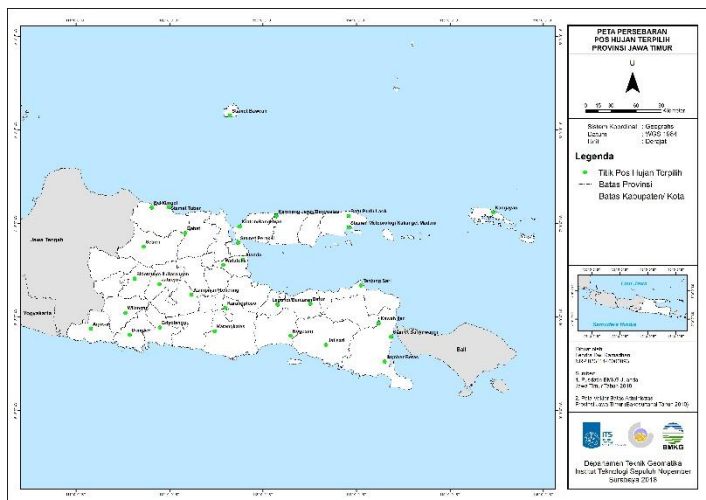
Perekaman citra MODIS selama dua kali dalam sehari tidak seluruhnya digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini, melainkan dengan menyeleksi ketersediaan data curah hujan aktual dengan data citra MODIS yang tersedia. Variasi kondisi awan juga menjadi pertimbangan dalam menentukan citra MODIS yang digunakan. Untuk mendapatkan parameter SPA dan ALB maka dicari citra yang memiliki tutupan awan terbanyak dalam satu *scene* (lembar) perekaman citra pada daerah kajian. Variasi kondisi awan tersebut nantinya yang akan membedakan nilai SPA dan ALB pada tiap-tiap citra yang digunakan dalam mengestimasi nilai curah hujan.

Data olahan dari citra MODIS (SPA dan ALB) dan data curah hujan aktual yang telah dianggap mewakili, tidak

seluruhnya kemudian digunakan dalam memperoleh persamaan regresi linier berganda, oleh karena itu data curah hujan aktual yang digunakan harus memiliki kolokasi ruang dan waktu, maka lokasi tanpa tutupan awan (N/A) tidak dapat digunakan untuk menyusun persamaan regresi linier berganda. Data curah hujan aktual yang kosong (bukan nol/ tidak terjadi hujan) juga tidak dapat digunakan untuk memperoleh persamaan regresi linier berganda.

4.1.8 Pemilihan Sampel, Keterbatasan Metode dan Data

Data curah hujan aktual dari pos hujan milik BMKG digunakan untuk memperoleh persamaan regresi linier berganda, berjumlah 30 titik yang tersebar di seluruh Provinsi Jawa Timur. Total 30 titik pos hujan tersebut diasumsikan dapat mewakili data curah hujan aktual di Provinsi Jawa Timur. Asumsi tersebut didasarkan pada kelengkapan informasi curah hujan pada masing-masing pos hujan. Persebaran titik pos hujan terpilih dapat dilihat pada Gambar 4.6 berikut:



Gambar 4. 6 Peta Persebaran Titik Pos Hujan Terpilih Provinsi Jawa Timur

Pada penelitian Tugas Akhir ini, sampel untuk membangun persamaan regresi linier berganda dari data curah hujan aktual serta hasil olahan citra MODIS (SPA dan ALB) yang mewakili skala provinsi sekaligus kolokasi (ruang dan waktu) yaitu sejumlah 36 data dari 194 data (populasi). Jumlah 36 data sampel tersebut (Lampiran 2) terdiri dari 18 pos hujan pada 2 waktu perekaman yang berbeda yaitu 27 Oktober 2017 dan 27 November 2017. Sedangkan, jumlah 194 data populasi tersebut (Lampiran 9) merupakan data yang telah difilter berdasarkan kelengkapan data SPA dan ALB yang diekstraksi dari masing-masing citra dan data CH aktual yang memiliki nilai angka bukan TTU dan (-).

Citra MODIS sebagai salah satu citra penginderaan jauh dengan kemampuan seperti yang telah dijelaskan pada bab II, memiliki kelebihan terkait dengan kedetailan informasi spektral karena pembagian panjang gelombang yang sempit pada sensornya. Kedetailan informasi spektral tersebut berguna untuk ekstraksi informasi terkait kondisi detail dari objek yang direkam, khususnya terkait dengan atmosfer dan cuaca. Selain dapat menurunkan informasi SPA dan ALB, sensor dari MODIS dapat memberikan informasi kandungan uap air pada awan, aerosol awan, ketebalan awan dan lain sebagainya (NASA 2018 b).

Selain kelebihanannya, citra MODIS juga memiliki keterbatasan terkait dengan resolusi temporal yang tidak begitu tinggi. Disisi lain, data curah hujan aktual lebih sering tidak mempresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan, karena data lebih banyak kosong (tidak terisi) akibat pencatatan yang tidak teratur serta kemampuan alat pada stasiun/ pos hujan yang minim.

4.1.9 Hubungan SPA, ALB dan Curah Hujan Estimasi

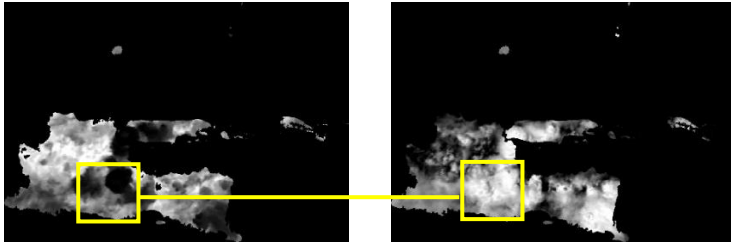
SPA dan ALB sebagai variabel bebas yang menentukan tinggi rendahnya nilai curah hujan sebagai variabel terikat, memiliki variasi kondisi serta korelasi (hubungan) yang berkebalikan antara satu dengan yang lain. Hal tersebut dapat diketahui melalui nilai korelasi antara keduanya serta visualisasi pada citra MODIS. Tabel 4.8 memperlihatkan nilai korelasi

antara SPA dan ALB yaitu -0,767. Berdasarkan tabel interpretasi koefisien korelasi (Tabel 2.15) dapat didefinisikan bahwa nilai korelasi yang dihasilkan termasuk dalam korelasi tinggi atau hubungan ditandai dengan nilai negatif. Adapun hubungan berkebalikan keduanya juga dapat diketahui secara jelas melalui visualisasi citra, seperti pada Gambar 4.7. Waktu dan lokasi perekaman yang sama menunjukkan visualisasi nilai kecerahan yang berbeda antara SPA dan ALB.

Tabel 4. 9 Nilai Korelasi SPA, ALB dan Curah Hujan

Correlations		CH	SPA	ALB
Pearson Correlation	CH	1,000	-,615	,541
	SPA	-,615	1,000	-,767
	ALB	,541	-,767	1,000
Sig. (1-tailed)	CH	.	,000	,000
	SPA	,000	.	,000
	ALB	,000	,000	.
N	CH	36	36	36
	SPA	36	36	36
	ALB	36	36	36

Berdasarkan visualisasi pada Gambar 4.7, semakin gelap (tinggi) keabuan pada citra SPA menunjukkan nilai SPA yang semakin rendah. Begitu pula pada citra ALB, semakin gelap rona pada citra ALB, nilai yang ditunjukkan semakin rendah. Hal tersebut berlaku sebaliknya. Namun, untuk kondisi citra SPA di waktu dan lokasi perekaman yang sama dengan citra ALB, memiliki visualisasi rona yang berbeda. Semakin gelap rona pada citra SPA, maka visualisasi rona pada citra ALB semakin cerah. Begitu pula untuk kondisi sebaliknya, semakin cerah rona pada citra SPA, maka visualisasi rona pada citra berisi informasi ALB semakin gelap.



Gambar 4. 7 Perbandingan Visualisasi Rona antara SPA (kiri) dan ALB (kanan)

Berdasarkan asumsi dari penelitian oleh Behrangi, Koulin, dkk (2010), serta memperhatikan citra MODIS hasil olahan yaitu: nilai kecerahan (rona) pada citra SPA dan ALB memiliki hubungan saling berkebalikan. Artinya, semakin rendah nilai SPA (rona semakin gelap), semakin besar potensi menghasilkan hujan sedangkan saat yang sama, nilai ALB semakin tinggi (rona semakin cerah). Kondisi sebaliknya, semakin tinggi nilai SPA (rona semakin cerah) dan semakin kecil nilai ALB (rona semakin gelap), menunjukkan potensi terjadinya hujan semakin kecil.

Pembuktian dari asumsi tersebut, selanjutnya dijelaskan melalui hasil dari persamaan regresi linier berganda, berupa citra estimasi curah hujan. Hubungan berkebalikan antara SPA dan ALB yang terjadi untuk citra hasil olahan, dapat diketahui, seperti contoh pada Gambar 4.7. Hanya saja, estimasi curah hujan tidak sepenuhnya sesuai dengan asumsi awal. Hal tersebut terjadi karena proses pembentukan awan hingga terjadinya hujan memiliki waktu yang sangat bervariasi. Sedangkan citra MODIS memiliki resolusi temporal yang tidak begitu tinggi (2 kali sehari) dibandingkan dengan citra radar. Faktor lain berupa arah angin yang menyebabkan pergerakan awan sehingga hujan kemungkinan turun pada tempat yang berbeda. Hal tersebut adalah keterbatasan temporal citra MODIS yang tidak dapat merekam informasi pergerakan awan dalam waktu yang singkat.

4.1.10 Uji Persamaan Estimasi Curah Hujan

Berdasarkan persamaan dasar regresi linier berganda pada Bab II (Persamaan 2.11) dan hasil pengolahan statistik SPSS (Tabel 4.13) didapatkan suatu persamaan baru hasil regresi yang diperoleh antara nilai SPA dan nilai ALB terhadap nilai curah hujan aktual (data pos hujan terpilih), sebagai berikut:

$$y = 44,788 - 0,194x_1 + 7,798x_2 \dots\dots\dots(4.1)$$

Keterangan:

- y = Curah hujan (mm/hari)
 x_1 = Suhu Permukaan Awan/ SPA (K)
 x_2 = Albedo Awan/ ALB (%)

Pada penelitian Tugas Akhir ini, persamaan (4.1) yang didapat dari hasil olah statistik hanya dapat diterapkan pada citra MODIS yang diteliti karena parameter pembangun persamaan tersebut berasal dari hasil ekstraksi dari citra MODIS, sehingga persamaan (4.1) tidak dapat digunakan untuk citra lainnya. Nilai R seperti terlihat pada Tabel 4.10, untuk persamaan (4.1) adalah 0,624 dan R^2 (*R square*) sebesar 0,390. Hal tersebut mengartikan bahwa terjadi hubungan yang sedang atau hubungan substansional antara SPA (x_1) dan ALB (x_2) terhadap curah hujan (y). Sedangkan presentase sumbangan pengaruh SPA dan ALB terhadap nilai curah hujan, ditunjukkan oleh nilai R^2 hanya sebesar 39%. Sisa dari nilai R^2 sebesar 61% dipengaruhi atau dijelaskan oleh variabel lain yang tidak dimasukkan dalam metode penelitian Tugas Akhir ini. Hasil nilai R^2 yang kecil disebabkan karena perbedaan kelas kanal yaitu parameter SPA merupakan nilai ekstraksi dari kanal *emmisive radiance* (*band 31* dan *band 32*) yang secara khusus digunakan untuk mengetahui suhu permukaan objek di atmosfer sedangkan parameter ALB merupakan nilai ekstraksi dari kanal *reflectance* atau *visible band* (*band 1*, *band 3* dan *band 4*) yang secara khusus untuk mengetahui karakteristik awan dan tampilan warna asli (*true colour*) dari citra MODIS. Walaupun berbeda fungsi namun

kombinasi dari parameter SPA dan ALB ini cukup dapat digunakan untuk melakukan estimasi curah hujan.

Nilai *standard error of estimate* pada hasil regresi yang terlihat pada Tabel 4.10 adalah 8,730. Artinya, bahwa banyaknya kesalahan dalam estimasi nilai curah hujan melalui persamaan (4.1) sebesar 8,730 milimeter (satuan nilai curah hujan). Nilai tersebut termasuk cukup baik digunakan untuk memprediksi nilai y atau curah hujan (Hasan 2013). Hal tersebut dibuktikan melalui nilai *standard error of estimate* yang besarnya kurang dari nilai standar deviasi nilai curah hujan, yaitu 10,853 milimeter (Tabel 4.11).

Tabel 4. 10 Nilai Persamaan Model Regresi

Model Summary^b

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,624 ^a	,390	,353	8,73070

a. Predictors: (Constant), ALB, SPA

b. Dependent Variable: CH

Tabel 4. 11 Nilai Hasil Statistik Deskriptif

Descriptive Statistics

	Mean	Std. Deviation	N
CH	6,2500	10,85324	36
SPA	220,3548	27,24902	36
ALB	,5281	,23409	36

Uji persamaan regresi linier berganda, tidak hanya terhadap nilai kekuatan hubungan, namun juga terhadap signifikansi variabel x secara bersama-sama (Uji F) dan parsial (Uji t) terhadap variabel y (Hasan 2013). Kaitannya dengan estimasi curah hujan, apakah nilai sampel sebanyak 36 data curah hujan dapat mewakili populasi sejumlah 194 data.

Hasil Uji F (Tabel 4.12) untuk persamaan (4.1), apabila nilai *prob.* F hitung (output SPSS ditunjukkan pada kolom *sig.*)

lebih kecil dari tingkat kesalahan/ error (α) 0,05 (yang telah ditentukan) maka dapat dikatakan bahwa model regresi yang diestimasi layak, sedangkan apabila nilai *prob. F* hitung lebih besar dari tingkat kesalahan 0,05 maka dapat dikatakan bahwa model regresi yang diestimasi tidak layak. Nilai *prob. F* hitung (*sig.*) pada Tabel 4.12, nilainya 0,000 lebih kecil dari tingkat signifikansi 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa model regresi linier yang diestimasi layak digunakan untuk menjelaskan pengaruh Suhu Permukaan Awan (SPA) dan Albedo Awan (ALB) terhadap Curah Hujan (CH).

Tabel 4. 12 Nilai Hasil Uji F

ANOVA ^a						
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	1607,318	2	803,659	10,543	,000 ^b
	Residual	2515,432	33	76,225		
	Total	4122,750	35			

a. Dependent Variable: CH

b. Predictors: (Constant), ALB, SPA

Uji koefisien regresi secara parsial (Uji t) terkait dengan persamaan (4.1), terlihat seperti pada Tabel 4.13. Apabila nilai *prob. t* hitung (output SPSS ditunjukkan pada kolom *sig.*) lebih kecil dari tingkat kesalahan/ error (α) 0,05 (yang telah ditentukan) maka dapat dikatakan bahwa variabel bebas (dari t hitung tersebut) berpengaruh signifikan terhadap variabel terikatnya, sedangkan apabila nilai *prob. t* hitung lebih besar dari tingkat kesalahan 0,05 maka dapat dikatakan bahwa variabel bebas tidak berpengaruh signifikan terhadap variabel terikatnya.

Tabel 4. 13 Nilai Hasil Uji t

Coefficients ^a					
Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	44,788	22,859		1,959	,059
SPA	-,194	,084	-,486	-2,294	,028
ALB	7,798	9,821	,168	,794	,433

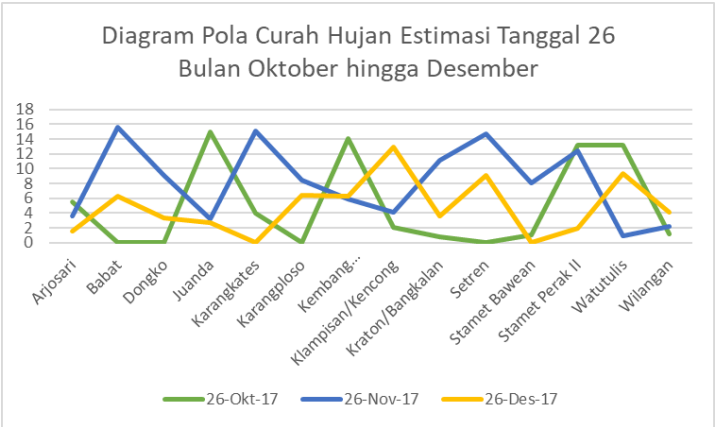
a. Dependent Variable: CH

Terlihat pada Tabel 4.13, nilai *prob. t* hitung dari variabel bebas SPA sebesar 0,028 yang lebih kecil dari 0,05 sehingga variabel bebas SPA berpengaruh signifikan terhadap variabel terikatnya (CH) pada alpha 5% atau dengan kata lain, SPA berpengaruh signifikan terhadap CH pada taraf keyakinan 95%. Berbeda dengan SPA, ALB secara parsial tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai curah hujan (CH), hal ini dibuktikan melalui nilai *prob. t* hitung dari variabel bebas ALB sebesar 0,433 yang lebih besar dari 0,05.

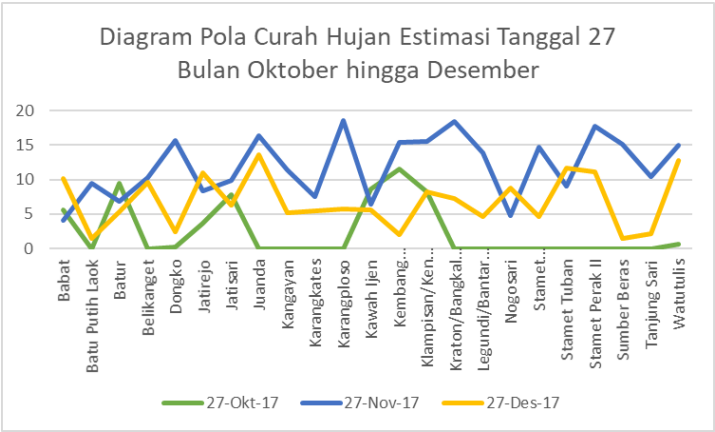
4.1.11 Klasifikasi Nilai Estimasi Curah Hujan

Sesuai dengan klasifikasi curah hujan harian pada Tabel 2.1, intensitas curah hujan diklasifikasikan menjadi 5 kelas, yaitu: (1) kurang dari 5 milimeter per hari, termasuk kategori hujan sangat ringan; (2) 5 hingga 20 milimeter per hari, termasuk kategori hujan ringan; (3) 21 hingga 50 milimeter per hari, termasuk kategori hujan sedang; (4) 51 hingga 100 milimeter per hari, termasuk kategori hujan lebat; dan (5) lebih dari 100 milimeter per hari, termasuk kategori hujan sangat lebat.

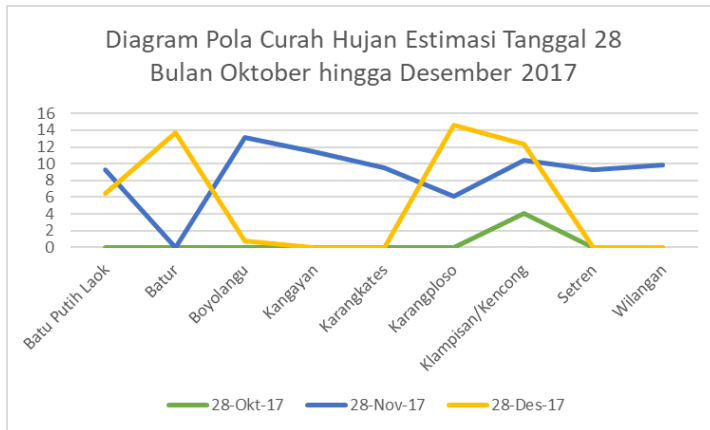
Berdasarkan klasifikasi tersebut, nilai estimasi curah hujan baik pada bulan Oktober, November dan Desember, intensitasnya hanya pada kelas 1 hingga kelas 3, tanpa nilai ekstrem. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.8 hingga Gambar 4.10 berikut:



Gambar 4. 8 Diagram Pola Curah Hujan Estimasi Tanggal 26



Gambar 4. 9 Diagram Pola Curah Hujan Estimasi Tanggal 27



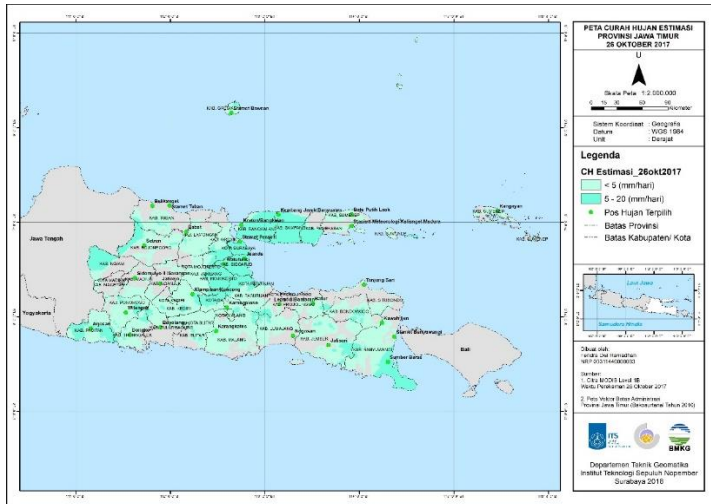
Gambar 4. 10 Diagram Pola Curah Hujan Estimasi Tanggal 28

4.1.12 Pola Curah Hujan Estimasi pada 26, 27 dan 28 Oktober 2017

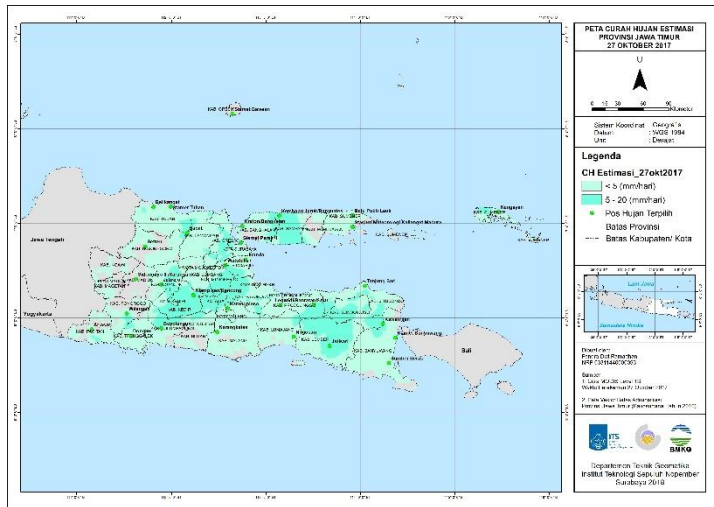
Berdasarkan Gambar 4.11 hingga Gambar 4.13 tersebut dapat diketahui bahwa secara keseluruhan nilai curah hujan hanya terbagi pada 2 kelas, yaitu: kurang dari 5 milimeter per hari dan 5 hingga 20 milimeter per hari, dengan persebaran yang bervariasi di wilayah kajian.

Pada tanggal 26 Oktober 2017, intensitas curah hujan estimasi di Provinsi Jawa Timur mengalami curah hujan terendah terletak di 18 pos hujan dengan intensitas curah hujan sebesar 0 mm/hari, sedangkan curah hujan tertinggi terletak pada Pos Hujan Juanda dengan intensitas curah hujan sebesar 14,977 mm/hari. Pada tanggal 27 Oktober 2017, intensitas curah hujan estimasi di Provinsi Jawa Timur mengalami curah hujan terendah terletak di 19 pos hujan dengan intensitas curah hujan sebesar 0 mm/hari, sedangkan curah hujan tertinggi terletak pada Pos Hujan Kembang Jeruk/Banyuates dengan intensitas curah hujan sebesar 11,496 mm/hari. Pada tanggal 28 Oktober 2017, intensitas curah hujan estimasi di Provinsi Jawa Timur mengalami curah hujan terendah terletak di 29 pos hujan dengan

intensitas curah hujan sebesar 0 mm/hari, sedangkan curah hujan tertinggi terletak pada Pos Hujan Klampisan/Kencong dengan intensitas curah hujan sebesar 4,098 mm/hari.



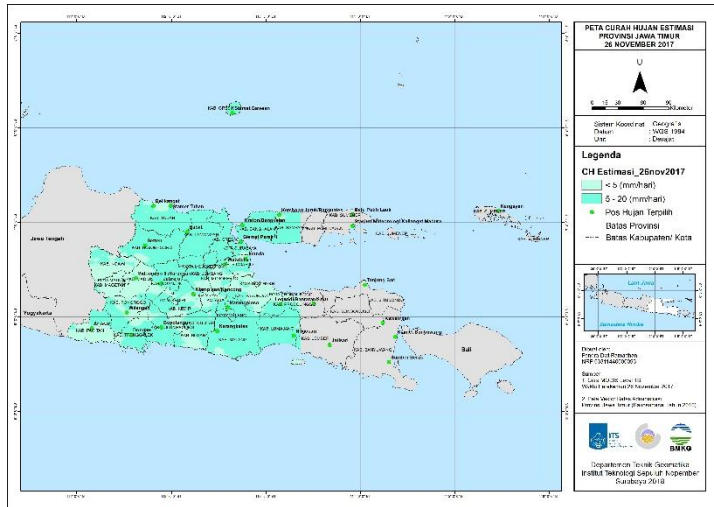
Gambar 4. 11 Peta Curah Hujan Estimasi 26 Oktober 2017



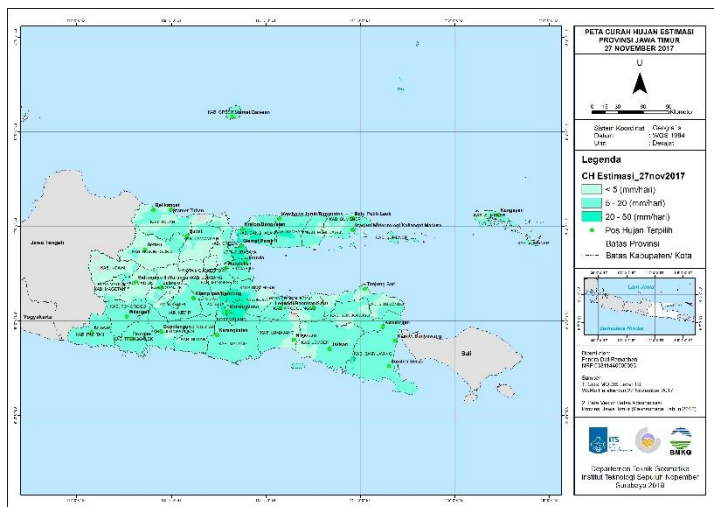
4.1.13 Pola Curah Hujan Estimasi pada 26, 27 dan 28 November 2017

Berdasarkan Gambar 4.14 hingga Gambar 4.16 tersebut dapat diketahui bahwa nilai curah hujan terbagi pada 3 kelas, yaitu: kurang dari 5 milimeter per hari, 5 hingga 20 milimeter per hari dan 21 hingga 50 milimeter per hari, dengan persebaran yang bervariasi di wilayah kajian.

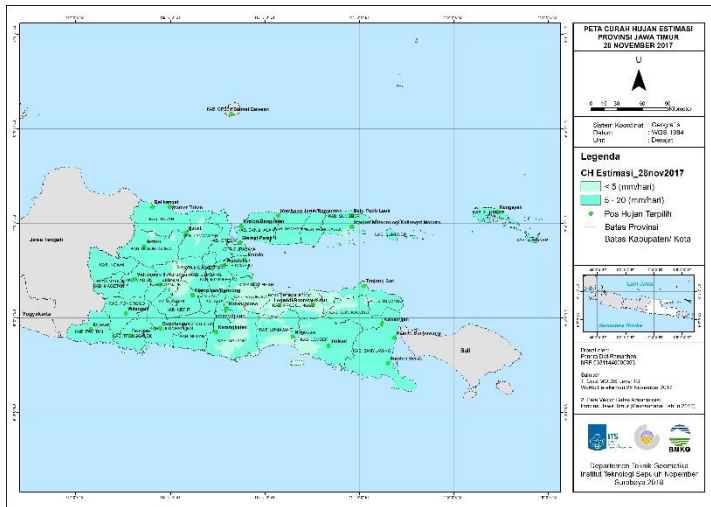
Pada tanggal 26 November 2017, intensitas curah hujan estimasi di Provinsi Jawa Timur mengalami curah hujan terendah terletak di 10 pos hujan dengan intensitas curah hujan sebesar 0 mm/hari, sedangkan curah hujan tertinggi terletak pada Pos Hujan Babat dengan intensitas curah hujan sebesar 15,604 mm/hari. Pada tanggal 27 November 2017, intensitas curah hujan estimasi di Provinsi Jawa Timur mengalami curah hujan terendah terletak pada Pos Hujan Stasiun Meteorologi Kalianget Madura dengan intensitas curah hujan sebesar 0 mm/hari, sedangkan curah hujan tertinggi terletak pada Pos Hujan Karangploso dengan intensitas curah hujan sebesar 18,515 mm/hari. Pada tanggal 28 November 2017, intensitas curah hujan estimasi di Provinsi Jawa Timur mengalami curah hujan terendah terletak di 3 pos hujan dengan intensitas curah hujan sebesar 0 mm/hari, sedangkan curah hujan tertinggi terletak pada Pos Hujan Arjosari dengan intensitas curah hujan sebesar 15,861 mm/hari.



Gambar 4. 14 Peta Curah Hujan Estimasi 26 November 2017



Gambar 4. 15 Peta Curah Hujan Estimasi 27 November 2017

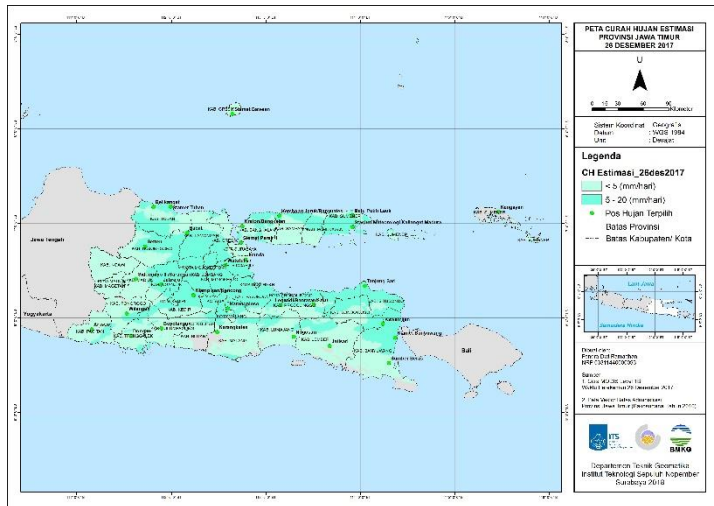


Gambar 4. 16 Peta Curah Hujan Estimasi 28 November 2017

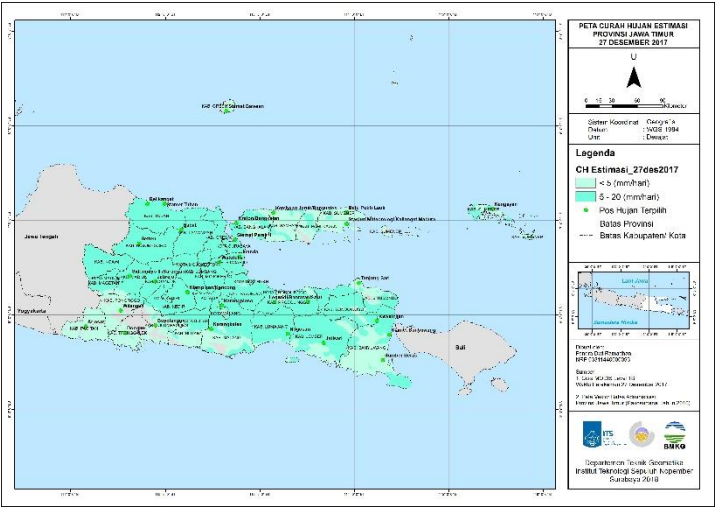
4.1.14 Pola Curah Hujan Estimasi pada 26, 27 dan 28 Desember 2017

Berdasarkan Gambar 4.17 hingga Gambar 4.19 tersebut dapat diketahui bahwa secara keseluruhan nilai curah hujan hanya terbagi pada 2 kelas, yaitu: kurang dari 5 milimeter per hari dan 5 hingga 20 milimeter per hari, dengan persebaran yang bervariasi diwilayah kajian.

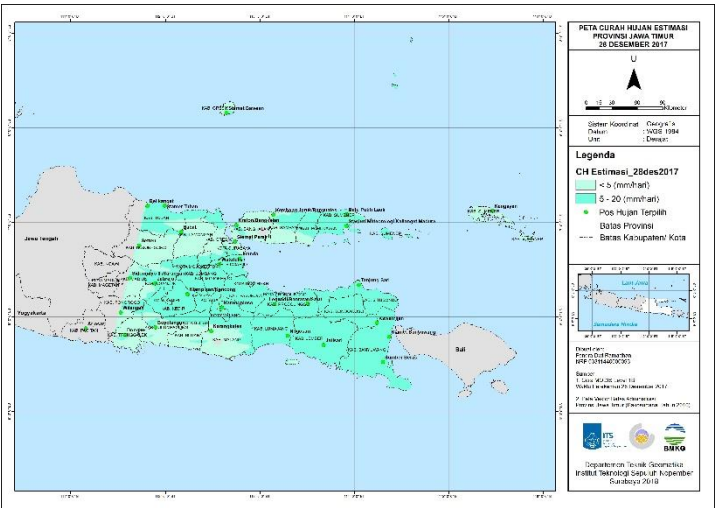
Pada tanggal 26 Desember 2017, intensitas curah hujan estimasi di Provinsi Jawa Timur mengalami curah hujan terendah terletak di 5 pos hujan dengan intensitas curah hujan sebesar 0 mm/hari, sedangkan curah hujan tertinggi terletak pada Pos Hujan Stamet Tuban dengan intensitas curah hujan sebesar 15,332 mm/hari. Pada tanggal 27 Desember 2017, intensitas curah hujan estimasi di Provinsi Jawa Timur mengalami curah hujan terendah terletak di 4 pos hujan dengan intensitas curah hujan sebesar 0 mm/hari, sedangkan curah hujan tertinggi terletak pada Pos Hujan Setren dengan intensitas curah hujan sebesar 15,144 mm/hari. Pada tanggal 28 Desember 2017, intensitas



Gambar 4. 17 Peta Curah Hujan Estimasi 26 Desember 2017



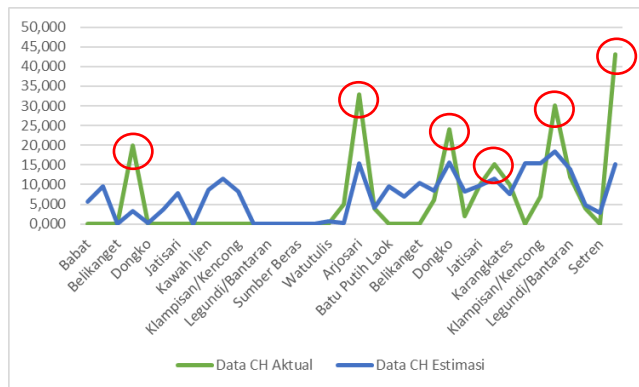
Gambar 4. 18 Peta Curah Hujan Estimasi 27 Desember 2017



Gambar 4. 19 Peta Curah Hujan Estimasi 28 Desember 2017

4.1.15 Perbandingan Pola Curah Hujan Estimasi dengan Curah Hujan Aktual

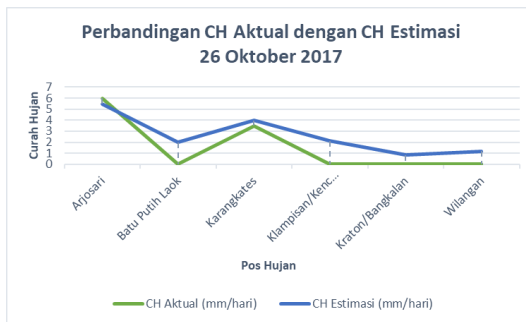
Berbeda dengan curah hujan estimasi dari citra MODIS yang memiliki nilai rata-rata, yaitu antara 0 hingga 18,515 mm/hari, sedangkan curah hujan aktual menunjukkan nilai yang melebihi sampai 100 mm/hari untuk lokasi titik pos hujan tertentu. Meskipun terlihat perbedaan yang jelas antara curah hujan hasil estimasi melalui citra MODIS dengan curah hujan aktual (pos hujan), namun sebenarnya nilai antara keduanya menunjukkan pola yang sama. Visualisasi terkait perbedaan nilai curah hujan hasil estimasi dengan data aktual dapat diketahui pada Gambar 4.20. Terlihat bahwa terdapat 6 puncak ekstrim yang menunjukkan nilai curah hujan aktual yang berbeda jauh dengan nilai rata-rata curah hujan pada gambar tersebut.



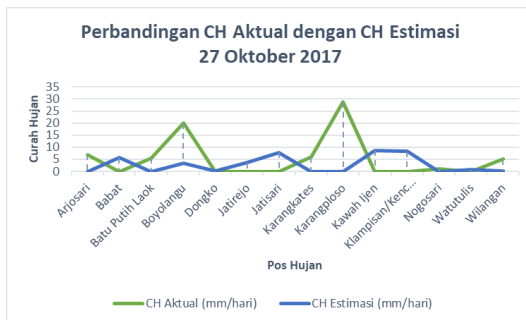
Gambar 4. 20 Grafik Perbandingan Curah Hujan Estimasi dengan Curah Hujan Aktual pada Data Persamaan Regresi Linier Berganda (27-okt-2017 dan 27-nov-2017)

Lampiran 3, menjelaskan lebih detail tentang nilai pada grafik diatas. Ketika kondisi curah hujan di lapangan nol (0), estimasi menunjukkan terjadinya hujan dengan nilai tertentu. Seperti contohnya terlihat pada Pos Hujan Jatisari, menurut data curah hujan aktual bernilai 0, sedangkan menurut estimasi terjadi

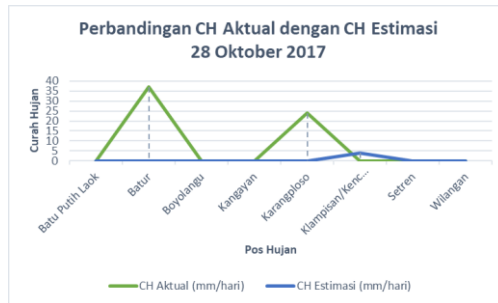
hujan sebanyak 7,876 mm. Simbol (e) pada selisih antara curah hujan estimasi dan curah hujan aktual menunjukkan kondisi yang ekstrem yang terjadi di 6 titik pos hujan dengan nilai curah hujan aktual yang lebih tinggi dibandingkan rata-rata nilai curah hujan pada pos hujan lainnya. Adapun visualisasi perbandingan nilai curah hujan estimasi dengan curah hujan aktual tiap bulannya dapat dilihat pada Gambar 4.21 hingga 4.29 berikut:



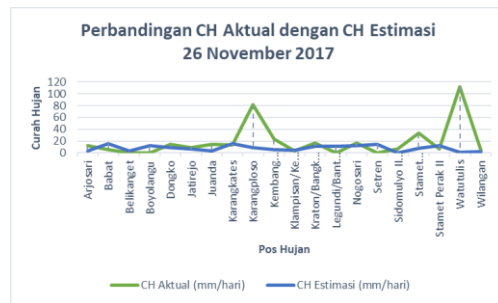
Gambar 4. 21 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 26 Oktober 2017



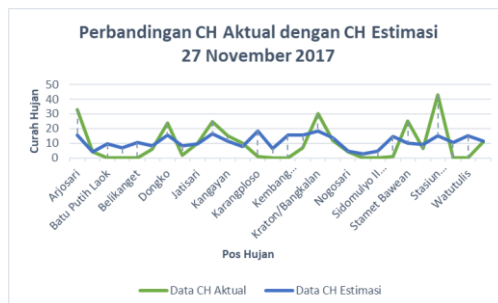
Gambar 4. 22 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 27 Oktober 2017



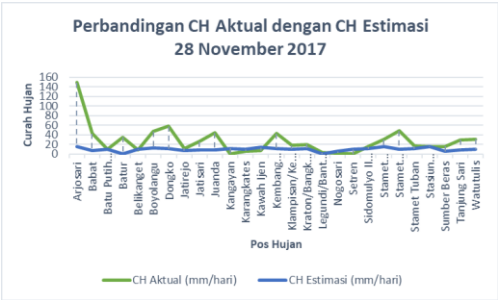
Gambar 4. 23 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 28 Oktober 2017



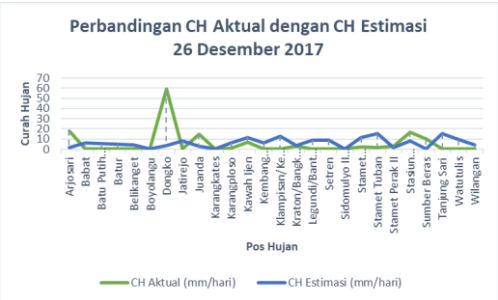
Gambar 4. 24 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 26 November 2017



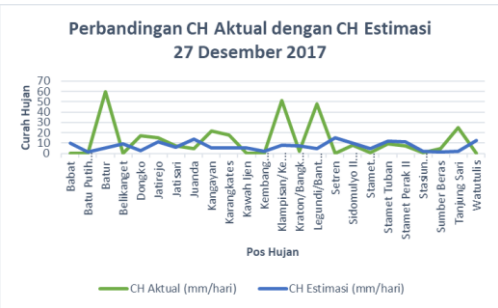
Gambar 4. 25 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 27 November 2017



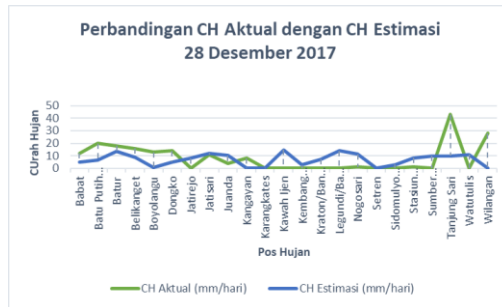
Gambar 4. 26 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 28 November 2017



Gambar 4. 27 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 26 Desember 2017



Gambar 4. 28 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 27 Desember 2017



Gambar 4. 29 Grafik Perbandingan Curah Hujan Aktual dengan Curah Hujan Estimasi pada 28 Desember 2017

Secara garis besar, nilai curah hujan estimasi memperlihatkan pola yang sama dengan nilai curah hujan aktual. Dapat didefinisikan bahwa nilai curah hujan estimasi melalui citra MODIS termasuk *under-estimate* dibandingkan nilai curah hujan aktual kecuali kondisi ekstrem.

Berdasarkan nilai curah hujan aktual pada Lampiran 3, maka ditemukan 2 pos hujan yang memiliki nilai curah hujan harian yang dikategorikan sebagai cuaca ekstrem yaitu lebih dari 100 mm per hari yaitu pada: 26 November 2017 (Pos Hujan Watutulis, Kab. Sidoarjo) dengan nilai 112 mm/hari dan 28 November 2017 (Pos Hujan Arjosari, Kab. Pacitan) dengan nilai 149 mm/hari. Sedangkan pada nilai curah hujan estimasi pada Lampiran 3, tidak menunjukkan nilai ekstrem namun jika dilihat dari nilai estimasi tertinggi maka didapatkan 3 pos hujan yaitu: bulan Oktober tertinggi pada tanggal 26 Oktober 2017 (Pos Hujan Juanda, Kab. Sidoarjo) dengan nilai 14,977 mm/hari, bulan November tertinggi pada tanggal 27 November 2017 (Pos Hujan Kraton/Bangkalan, Kab. Bangkalan) dengan nilai 18,438 mm/hari, dan bulan Desember tertinggi pada tanggal 26 Desember 2017 (Pos Hujan Stamet Tuban, Kab. Tuban) dengan nilai 15,332 mm/hari. Adapun jika nilai curah hujan ekstrem pada data aktual di bandingkan dengan data estimasi maka pada 26 November 2017, data estimasi menunjukkan nilai 0,968 mm/hari

dan pada 28 November 2017, data estimasi menunjukkan nilai 15,861 mm/hari. Terlihat nilai yang berbanding cukup jauh dengan data aktual sehingga sesuai dengan pernyataan sebelumnya bahwa nilai curah hujan estimasi melalui citra MODIS termasuk *under-estimate*.

Perbedaan yang terjadi antara curah hujan estimasi dengan curah hujan aktual yakni pada pos hujan karena curah hujan estimasi MODIS merupakan kumpulan titik-titik air dan kristal-kristal air yang membentuk awan, sedangkan curah hujan dari pos hujan adalah titik-titik air dari awan yang telah sampai di permukaan bumi dan terukur oleh pos hujan. Faktor-faktor yang mempengaruhi besar perbedaan curah hujan antara lain:

a. Kondisi Awan

Ketinggian dan ketebalan awan berpengaruh dalam perjalanan curah hujan ke bumi. Ketinggian awan mempengaruhi perbedaan curah hujan pada awan dan pos hujan. Curah hujan pada awan mempunyai jari-jari 5 – 20 mm jatuh ke permukaan bumi karena pengaruh gravitasi dengan kecepatan 0,01 – 5 cm/s dan saat jatuh ke bumi berwujud kumpulan partikel air yang kecil. Bila kecepatan aliran udara keatas jauh lebih besar, tetes awan tersebut tidak akan jatuh. Untuk dapat jatuh ke bumi tanpa menguap maka diperlukan suatu tetes yang lebih besar yaitu sekitar 1 mm, karena hanya dengan ukuran demikian tetes tersebut dapat mengalahkan gerakan udara ke atas. Semakin tinggi awan maka kecepatan jatuh semakin besar maka massa air yang jatuh semakin kecil. Awan yang terlalu tipis juga dapat bergerak dengan bantuan angin (Dayantolis 2008).

b. Intensitas Radiasi Matahari

Dalam perjalanan jatuh ke bumi, curah hujan pada awan ada yang menguap dan awan dapat menghilang karena pengaruh intensitas radiasi matahari sehingga ia tidak sampai ke permukaan bumi, akan tetapi ada juga yang dapat sampai ke permukaan bumi sehingga membentuk hujan gerimis. Inilah yang menyebabkan awan itu selalu berubah-ubah

bentuknya. Kandungan air yang terkandung di dalam awan silih berganti menguap dan mencair.

c. Awan yang Bertumpuk-tumpuk

Awan yang terekam pada citra MODIS adalah awan yang berada pada lapisan atas sehingga bila terdapat tumpukan awan lain yang berada dibawahnya awan tersebut tidak ikut terekam. Bila partikel air dari awan yang terekam satelit jatuh ke dalam awan yang berada di bawahnya dan saling bertabrakan akan membentuk tetesan air yang lebih besar. Tetesan air yang jatuh ke bumi ini dapat bergabung dengan tetesan dari awan lain sehingga membentuk hujan yang lebat.

d. Angin

Faktor angin sangat berpengaruh dalam proses jatuhnya titik-titik atau kristal air pada awan. Karena pengaruh angin, partikel air yang terdapat pada awan tidak jatuh tepat dibawah awan tetapi miring sesuai dengan arah angin. Posisi wilayah Provinsi Jawa Timur yang berbatasan dengan Samudera Hindia di selatan, Laut Jawa di utara serta Selat Bali di timur dan Daratan Jawa di barat tentu akan dipengaruhi oleh angin laut dan angin darat. Hal ini sangat sesuai dengan kondisi press release cuaca ekstrem yang dikeluarkan oleh BMKG Juanda, yaitu: adanya tekanan rendah di Selatan Jawa mengakibatkan area belokan angin yang menyebabkan peningkatan pertumbuhan awan hujan serta aliran masa udara basah dari barat menyebabkan kondisi udara di sekitar Jawa Timur menjadi sangat tidak stabil (BMKG 2017).

4.1.16 Uji Akurasi Curah Hujan Estimasi dengan Curah Hujan Aktual

Berdasarkan hasil data curah hujan estimasi dari MODIS dengan data curah hujan aktual dari pos hujan terpilih di Provinsi Jawa Timur maka dilakukan uji akurasi antar keduanya dengan persamaan (2.21). Uji akurasi dilakukan pada data persamaan regresi linier berganda. Tabel 4.14 berikut adalah hasil dari uji akurasi yang dihasilkan.

Tabel 4. 14 Hasil Uji Akurasi Metode RMSE

No.	Pos Hujan	Data CH Aktual (mm/hari)	Data CH Estimasi (mm/hari)	Residual	Squared Residual
1	Babat	0,000	5,570	-5,570	31,021
2	Batur	0,000	9,493	-9,493	90,118
3	Belikanget	0,000	0,000	0,000	0,000
4	Boyolangu	20,000	3,270	16,730	279,886
5	Dongko	0,000	0,178	-0,178	0,032
6	Jatirejo	0,000	3,651	-3,651	13,329
7	Jatisari	0,000	7,876	-7,876	62,025
8	Kangayan	0,000	0,000	0,000	0,000
9	Kawah Ijen	0,000	8,686	-8,686	75,439
10	Kembang Jeruk/Banyuates	0,000	11,496	-11,496	132,149
11	Klampisan/Kencong	0,000	8,235	-8,235	67,816
12	Kraton/Bangkalan	0,000	0,000	0,000	0,000
13	Legundi/Bantaran	0,000	0,000	0,000	0,000
14	Stasiun Meteorologi Kalianget Madura	0,000	0,000	0,000	0,000
15	Sumber Beras	0,000	0,000	0,000	0,000
16	Tanjung Sari	0,000	0,000	0,000	0,000
17	Watutulis	0,000	0,683	-0,683	0,466
18	Wilangan	5,000	0,210	4,790	22,948
19	Arjosari	33,000	15,464	17,536	307,525
20	Babat	4,000	4,116	-0,116	0,013
21	Batu Putih Laok	0,000	9,444	-9,444	89,190
22	Batur	0,000	6,846	-6,846	46,871
23	Belikanget	0,000	10,333	-10,333	106,777
24	Boyolangu	6,000	8,382	-2,382	5,675
25	Dongko	24,000	15,677	8,323	69,276
26	Jatirejo	2,000	8,309	-6,309	39,801
27	Jatisari	10,000	9,815	0,185	0,034
28	Kangayan	15,100	11,392	3,708	13,752
29	Karangates	10,000	7,592	2,408	5,799

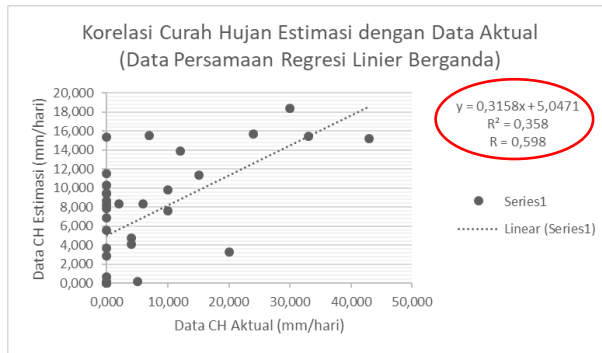
Lanjutan Tabel 4.14 Hasil Uji Akurasi Metode RMSE

No.	Pos Hujan	Data CH Aktual (mm/hari)	Data CH Estimasi (mm/hari)	Residual	Squared Residual
30	Kembang Jeruk/Banyuates	0,000	15,405	-15,405	237,323
31	Klampisan/Kencong	7,000	15,499	-8,499	72,231
32	Kraton/Bangkalan	30,000	18,438	11,562	133,687
33	Legundi/Bantaran	12,000	13,940	-1,940	3,764
34	Nogosari	4,000	4,772	-0,772	0,596
35	Setren	0,000	2,837	-2,837	8,050
36	Sumber Beras	43,000	15,183	27,817	773,769
RMSE					8,643

Berdasarkan Tabel 4.14, didapatkan bahwa nilai akurasi yang dihasilkan dari perhitungan RMSE (*Root Mean Square Error*) nilai CH Estimasi terhadap CH Aktual adalah sebesar 8,643. Yang berarti bahwa nilai kesalahan rata-rata yang didapat dari perhitungan CH Estimasi dengan CH Aktual yaitu 8,643 mm/hari. Nilai ini masih masuk dalam toleransi karena nilai RMSE tersebut dibawah dari nilai *standard error of estimate* pada hasil perhitungan regresi linier berganda (Tabel 4.10) yaitu 8,730 mm/hari.

4.1.17 Uji Korelasi Curah Hujan Estimasi dengan Curah Hujan Aktual

Berdasarkan hasil data curah hujan estimasi dari MODIS dengan data curah hujan aktual dari pos hujan terpilih di Provinsi Jawa Timur maka dilakukan uji korelasi antar keduanya dengan persamaan (2.22). Uji korelasi dilakukan pada data persamaan regresi linier berganda. Berikut adalah hasil dari uji korelasi yang dihasilkan:



Gambar 4. 30 Korelasi CH Estimasi dengan CH Aktual

Pada Gambar 4.30 dapat diketahui bahwa pada data persamaan regresi linier berganda yaitu 18 titik pos hujan tanggal 27 Oktober 2017 dan 18 titik pos hujan tanggal 27 November 2017 (36 titik) didapat suatu model matematis yang terbentuk yaitu $y = 0,3158x + 5,0471$. Berdasarkan model tersebut maka dapat diketahui bahwa setiap pertambahan nilai curah hujan hasil estimasi citra MODIS akan diikuti pula penambahan curah hujan pos hujan sebesar 0,3158 mm/hari dengan nilai koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,358 ($R = 59,8\%$). Berdasarkan interpretasi koefisien korelasi yang dikemukakan oleh Hasan (2013), dapat dikatakan bahwa nilai korelasi yang didapatkan diatas termasuk dalam korelasi sedang atau memiliki hubungan substansional. Hal ini juga sesuai dengan nilai R yang bernilai 0,624 pada Tabel 4.10 yang juga memiliki korelasi sedang sehingga keduanya saling terkait.

4.2 Hasil Pengolahan Citra SRTM untuk Menentukan Ketinggian Wilayah

Pengolahan citra SRTM yang digunakan merupakan data DEM SRTM yang memiliki proyeksi geografis dalam bentuk 16-bit biner raster sederhana. Untuk studi kasus di Jawa Timur, penelitian Tugas Akhir ini menggunakan data DEM SRTM yang memiliki resolusi spasial 90 m dikarenakan cakupan wilayah yang

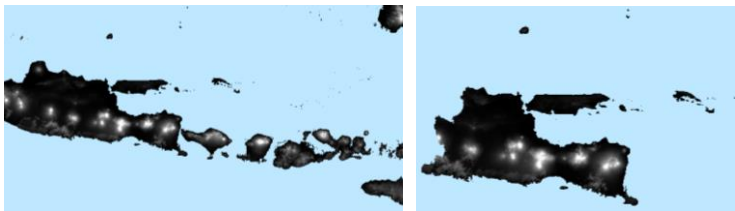
diolah pada tingkat provinsi sehingga file citra DEM yang diolah hanya terdiri dari dua *scene* yang meliputi wilayah di Provinsi D.I. Yogyakarta, Jawa Tengah, Jawa Timur, Bali dan Nusa Tenggara Barat.

Tabel 4. 15 File Data Citra DEM SRTM

No.	Nama File	Resolusi Spasial	Ukuran Piksel
1	srtm_59_14.tif	90 meter	6000 × 6000 piksel
2	srtm_60_14.tif	90 meter	6000 × 6000 piksel

4.2.1 Mosaicing

Untuk menghasilkan citra DEM SRTM yang mencakup wilayah Provinsi Jawa Timur maka dilakukan proses *mosaicing* pada *software* ArcMap 10.5. Gambar 4.31 berikut adalah hasil dari proses *mosaicing* yang dilakukan.



Gambar 4. 31 Hasil Proses *Mosaicing* (kiri) dan *Cropping* (kanan)

4.2.1 Cropping

Untuk mempermudah dalam pengolahan data maka dilakukan proses *cropping* cakupan wilayah pada penelitian Tugas Akhir ini yaitu di Provinsi Jawa Timur. *Cropping* dilakukan dengan menggunakan peta vektor acuan Provinsi Jawa Timur. Hasil dari proses *cropping* ini dapat dilihat pada Gambar 4.31.

4.2.2 Hillshading

Proses *hillshading* dilakukan untuk mempresentasikan gambaran relief sebuah wilayah pada sebuah data raster yang

masih dalam format 2D dengan cara memberikan kesan 3D pada data raster tersebut. Pemberian kesan 3D tersebut dilakukan dengan cara pemberian teknik pencahayaan dan bayangan yang tepat pada sebuah data raster. Hasil pada proses ini memperlihatkan tampilan topografi wilayah pada daerah penelitian secara seolah-olah 3D (Gambar 4.32).



Gambar 4. 32 Hasil Proses *Hillshading*

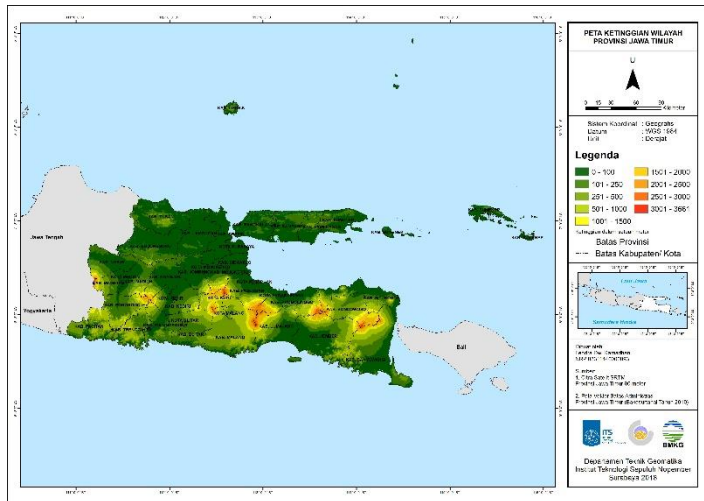
4.2.3 Klasifikasi Ketinggian Wilayah

Untuk mempermudah dalam menentukan ketinggian wilayah di masing-masing daerah di Provinsi Jawa timur maka dilakukan klasifikasi ketinggian wilayah dari citra SRTM yang telah diproses sebelumnya. Klasifikasi ketinggian dibagi dalam 9 kelas sesuai dengan peta acuan ketinggian wilayah Provinsi Jawa Timur pada Tabel 2.9. Untuk mempermudah dalam proses analisis spasial, pembagian kelas ketinggian wilayah dibagi menjadi 3 kelas yaitu: dataran rendah, dataran sedang dan dataran tinggi.



Gambar 4. 33 Hasil Proses Klasifikasi Ketinggian Wilayah

Setelah proses *mosaicing*, *cropping*, *hillshading* dan klasifikasi ketinggian wilayah selesai, dilakukan proses *overlay* data secara keseluruhan yaitu antara citra *hillshade* dengan citra ketinggian wilayah sehingga menghasilkan Peta Ketinggian Wilayah Provinsi Jawa Timur seperti terlihat pada Gambar 4.34 berikut.



Gambar 4. 34 Peta Ketinggian Wilayah Provinsi Jawa Timur

Berdasarkan Gambar 4.34 terlihat peta ketinggian wilayah di seluruh wilayah Provinsi Jawa Timur. Secara visual dapat diketahui bahwa Provinsi Jawa Timur terdiri dari tiga kelas ketinggian yaitu dataran rendah, dataran sedang dan dataran tinggi yang menyebar dan bervariasi di wilayah daratannya. Terlihat dataran rendah yang hampir menutupi seluruh wilayah dengan warna hijau, dataran sedang yang ditandai warna kuning dan beberapa puncak dataran tinggi yang ditandai dengan warna merah.

4.3 Analisis Spasial Pola Curah Hujan Estimasi terhadap Ketinggian Wilayah

Berdasarkan hasil analisis spasial antara pola curah hujan estimasi terhadap ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur didapat informasi berupa luasan wilayah kelas curah hujan dalam beberapa kelas ketinggian wilayah di Provinsi Jawa Timur. (Tabel 4.16 hingga 4.18)

Tabel 4. 16 Hasil Analisis Spasial Luas Wilayah Curah Hujan Bulan Oktober 2017

26 Oktober 2017			
	Dataran Rendah	Dataran Sedang	Dataran Tinggi
< 5 (mm/hari)	12.796 km ²	9.254 km ²	2.532 km ²
5 - 20 (mm/hari)	6.778 km ²	1.360 km ²	612 km ²
TOTAL LUAS			33.332 km ²
27 Oktober 2017			
	Dataran Rendah	Dataran Sedang	Dataran Tinggi
< 5 (mm/hari)	19.852 km ²	8.850 km ²	1.784 km ²
5 - 20 (mm/hari)	5.151 km ²	2.830 km ²	1.421 km ²
TOTAL LUAS			39.888 km ²
28 Oktober 2017			
	Dataran Rendah	Dataran Sedang	Dataran Tinggi
< 5 (mm/hari)	11.131 km ²	6.794 km ²	2.403 km ²
5 - 20 (mm/hari)	744 km ²	0 km ²	0 km ²
TOTAL LUAS			21.071 km ²

Tabel 4. 17 Hasil Analisis Spasial Luas Wilayah Curah Hujan Bulan November 2017

26 November 2017			
	Dataran Rendah	Dataran Sedang	Dataran Tinggi
< 5 (mm/hari)	7.763 km ²	3.350 km ²	772 km ²
5 - 20 (mm/hari)	15.129 km ²	5.788 km ²	1.305 km ²
TOTAL LUAS			34.107 km ²

Lanjutan Tabel 4.17 Hasil Analisis Spasial Luas Wilayah Curah Hujan Bulan November 2017

27 November 2017			
	Dataran Rendah	Dataran Sedang	Dataran Tinggi
< 5 (mm/hari)	13.212 km ²	2.514 km ²	346 km ²
5 - 20 (mm/hari)	17.527 km ²	10.646 km ²	2.935 km ²
20-50 (mm/hari)	108 km ²	136 km ²	32 km ²
TOTAL LUAS			47.456 km ²
28 November 2017			
	Dataran Rendah	Dataran Sedang	Dataran Tinggi
< 5 (mm/hari)	6.129 km ²	2.889 km ²	1.018 km ²
5 - 20 (mm/hari)	24.814 km ²	10.439 km ²	2.295 km ²
TOTAL LUAS			47.584 km ²

Tabel 4. 18 Hasil Analisis Spasial Luas Wilayah Curah Hujan Bulan Desember 2017

26 Desember 2017			
	Dataran Rendah	Dataran Sedang	Dataran Tinggi
< 5 (mm/hari)	17.506 km ²	9.437 km ²	1.795 km ²
5 - 20 (mm/hari)	12.262 km ²	3.385 km ²	1.517 km ²
TOTAL LUAS			45.903 km ²
27 Desember 2017			
	Dataran Rendah	Dataran Sedang	Dataran Tinggi
< 5 (mm/hari)	10.633 km ²	5.406 km ²	526 km ²
5 - 20 (mm/hari)	19.352 km ²	7.195 km ²	2.782 km ²
TOTAL LUAS			45.895 km ²
28 Desember 2017			
	Dataran Rendah	Dataran Sedang	Dataran Tinggi
< 5 (mm/hari)	11.201 km ²	3.489 km ²	160 km ²
5 - 20 (mm/hari)	15.834 km ²	8.131 km ²	3.006 km ²
TOTAL LUAS			41.820 km ²

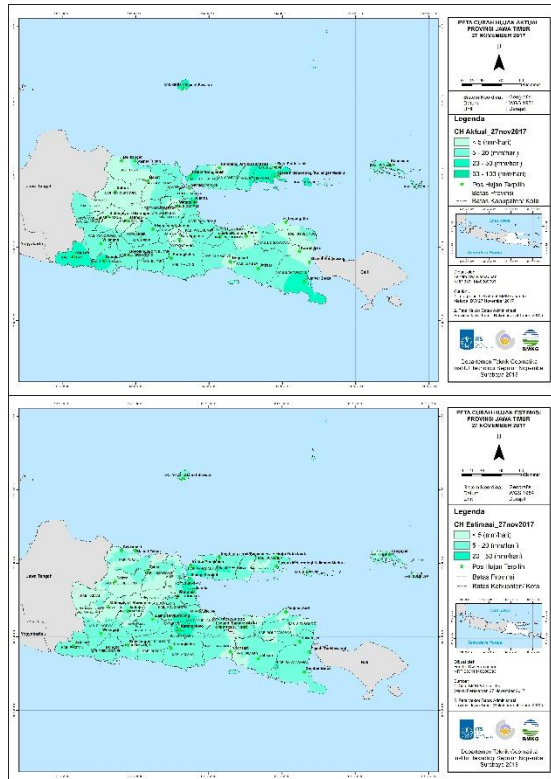
Wilayah hasil perpotongan antara *data vector* CH Estimasi dengan *data vector* Ketinggian Wilayah dilakukan dengan proses *Geoprocessing* yaitu *Intersect*. Dalam menentukan luas wilayah dari hasil perpotongan tersebut memperhatikan hubungan yang dibuat antar kelas CH Estimasi dengan kelas Ketinggian Wilayah. Dalam hal ini CH Estimasi dibagi dalam 2 dan 3 kelas sesuai dengan data yang tersedia sedangkan Ketinggian Wilayah dibagi dalam 3 kelas yaitu Dataran Rendah, Dataran Sedang dan Dataran Tinggi.

Berdasarkan Tabel 4.16 hingga 4.18, secara keseluruhan total luas wilayah curah hujan estimasi berbeda-tiap tiap citra dan tiap tanggal perekaman. Dengan total luas wilayah curah hujan estimasi pada bulan Oktober terbanyak pada tanggal 27 Oktober 2017 sebesar 39.888 km², pada bulan November terbanyak pada tanggal 28 November 2017 sebesar 47.584 km², sedangkan pada bulan Desember terbanyak pada tanggal 26 Desember 2017 sebesar 45.903 km². Luas wilayah curah hujan estimasi tersebut juga menandakan luas wilayah di Provinsi Jawa Timur yang tertutup oleh awan yang berpotensi hujan. Curah hujan estimasi pada kelas pertama (< 5 mm/hari) banyak tersebar di kelas dataran rendah dibandingkan dataran sedang dan tinggi. Hal ini karena secara visual luas, dataran rendah hampir tersebar di seluruh wilayah Provinsi Jawa Timur, sehingga mengakibatkan nilai luas wilayah curah hujan estimasi di dataran rendah pun bernilai banyak (Gambar 4.34).

Nilai luas wilayah yang berpotensi hujan secara keseluruhan terbesar pada tanggal 28 November 2017 sebesar 47.584 km². Hal ini sesuai dengan data curah hujan aktual pada tanggal 28 November 2017 yang menunjukkan nilai terbesar pula pada Pos Hujan Arjosari, Kab. Pacitan dengan nilai 149 mm/hari. Sehingga analisis luas wilayah ini sesuai dengan data aktual yang ada.

Variasi pola persebaran curah hujan di Provinsi Jawa Timur seperti pada Gambar 4.35, salah satunya disebabkan karena variasi topografi, yang lebih terkait pada kondisi cuaca setempat (lokal). Contoh kondisi meteorologis lokal yang terjadi pada tanggal 27

November 2017 di Provinsi Jawa Timur, tersebut yaitu pada perbedaan intensitas curah hujan pada luas wilayah daratannya. Keduanya memiliki karakteristik yang berbeda terkait cuaca lokalnya, baik akibat kondisi topografi maupun besarnya pengaruh angin laut yang membawa awan namun secara umum disetiap wilayah memiliki pola sebaran yang tidak terlalu jauh berbeda.



Gambar 4.35 Curah Hujan Aktual (atas) dan Curah Hujan Estimasi (bawah) pada 27 November 2017 di Provinsi Jawa Timur

Provinsi Jawa Timur bagian tengah didominasi oleh pegunungan yang membentang dari barat hingga timur. Curah hujan lebih banyak dipengaruhi oleh aktivitas angin gunung dan angin lembah. Akibat dari dua jenis angin tersebut, hujan yang terjadi bersifat orografis dan adanya daerah hujan serta bayangan hujan. Hujan orografis yang bersifat lokal, menyebabkan intensitas curah hujan pada lereng pegunungan yang menghadap arah angin lebih tinggi dibandingkan pada lereng pegunungan yang membelakangi arah angin (Sinclair 1994).

Provinsi Jawa Timur bagian selatan, terdiri atas topografi yang bergelombang hingga berbukit. Kejadian curah hujan di Provinsi Jawa Timur bagian selatan lebih banyak dipengaruhi oleh aktivitas angin darat dan angin laut, karena berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Selain itu, proses terjadinya hujan juga masih dipengaruhi oleh angin yang naik dan turun gunung, sehingga menimbulkan terjadinya hujan orografis.

Provinsi Jawa Timur bagian utara didominasi oleh dataran rendah yang luas dan berbatasan langsung dengan Laut Jawa serta Selat Madura, sehingga aktivitas angin darat dan angin laut ikut mempengaruhi proses terjadinya hujan. Dominasi dataran rendah yang luas di Provinsi Jawa Timur bagian utara menyebabkan hujan turun dengan intensitas rendah, karena jarak perjalanan angin diatas medan datar cukup luas. Arah angin pada daerah sepanjang pantai utara yaitu sejajar dengan garis pantai, sehingga menyebabkan suhu konstan dan curah hujan rendah (Qian, Robertson, & Moron 2010).

Kondisi cuaca ekstrem yang terjadi pada bulan November pada penelitian Tugas Akhir ini sesuai dengan beberapa fenomena alam yang terjadi selama waktu tersebut. Dengan nilai curah hujan aktual terbesar pada tanggal 26 November 2017 (Pos Hujan Watutulis, Kab. Sidoarjo) dengan nilai 112 mm/hari dan 28 November 2017 (Pos Hujan Arjosari, Kab. Pacitan) dengan nilai 149 mm/hari. Hal tersebut dibuktikan dengan adanya berita tentang bencana banjir, tanah longsor dan angin puting beliung yang terjadi di dua wilayah tersebut.

Dari sekian bencana alam yang sempat melanda beberapa daerah di penghujung 2017, hanya dua daerah yang mengalami kerusakan paling parah, yaitu Kabupaten Pacitan dan Sidoarjo. Di Pacitan, terjadi bencana banjir dan longsor akibat cuaca ekstrem. Ada sekitar empat kecamatan, yaitu Pacitan, Kebonagung, Arjosari, dan Ngadirejo yang terendam banjir dengan ketinggian air rata-rata 50 sampai 100 centimeter. Selain banjir, juga terjadi longsor di beberapa titik. Seperti di Kecamatan Arjosari dan Desa Mentoro, Kecamatan Pacitan. Longsor juga terjadi di pemukiman warga di wilayah Desa Karanganyar dan Desa Karangnongko, Kecamatan Kebonagung. Selain itu, di Sidoarjo, ada tiga desa terdampak akibat angin puting beliung, yaitu Desa Tambakrejo, Tambak Sawah, dan Tambak Sumur di Kecamatan Waru (Andriansyah 2017).

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka dapat di dapatkan beberapa kesimpulan akhir yaitu:

1. Berdasarkan hasil pengolahan data estimasi curah hujan, di dapatkan model matematis $y = 44,788 - 0,194x_1 + 7,798x_2$, dengan nilai korelasi (R) antara CH Aktual, SPA dan ALB pada persamaan regresi linier berganda sebesar 62,4% sedangkan nilai koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,390. Nilai intensitas curah hujan yang diperoleh dari citra MODIS berupa estimasi minimal pada bulan Oktober hingga Desember sebesar 0 mm/hari dan estimasi maksimal pada bulan Oktober sebesar 14,977 mm/hari, bulan November sebesar 18,515 mm/hari dan bulan Desember sebesar 15,332 mm/hari.
2. Berdasarkan hasil perbandingan pola curah hujan estimasi dengan curah hujan aktual pada data regresi linier berganda didapatkan 6 puncak ekstrim yang menunjukkan nilai curah hujan aktual yang berbeda jauh dengan nilai estimasinya. Pola nilai curah hujan estimasi dari citra satelit MODIS termasuk *under-estimate* dibandingkan nilai curah hujan aktual kecuali pada kondisi ekstrem.
3. Berdasarkan hasil perbandingan nilai curah hujan estimasi dengan curah hujan aktual di dapatkan nilai uji akurasi (RMSE) sebesar 8,643 mm/hari. Nilai ini masih masuk dalam toleransi karena nilai RMSE tersebut dibawah dari nilai *std. error of estimate* yang didapat pada hasil perhitungan regresi linier berganda yaitu 8,730 mm/hari. Selanjutnya, didapatkan model matematis $y = 0,3158x + 5,0471$, dengan hasil uji korelasi (R) menunjukkan nilai 59,8% yang menandakan korelasi sedang dengan koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,358.

4. Berdasarkan hasil analisis spasial menunjukkan bahwa ketiga kelas curah hujan (< 5 mm/hari, $5 - 20$ mm/hari dan $20 - 50$ mm/hari) tersebar di ketiga kelas ketinggian wilayah (Dataran Rendah, Dataran Sedang dan Dataran Tinggi) di Provinsi Jawa Timur, dengan luas wilayah curah hujan estimasi pada bulan Oktober terbanyak pada tanggal 27 Oktober 2017 sebesar 39.888 km^2 , pada bulan November terbanyak pada tanggal 28 November 2017 sebesar 47.584 km^2 , sedangkan pada bulan Desember terbanyak pada tanggal 26 Desember 2017 sebesar 45.903 km^2 .

5.2 Saran

Adapun saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya, sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan memperhatikan beberapa variabel lain yang diperkirakan sangat berpengaruh pada proses terjadinya hujan seperti ketebalan awan, ketinggian awan, jenis awan, kecepatan angin, arah angin, intensitas radiasi matahari, tekanan udara, dan aspek meteorologi lainnya.
2. Karena objek yang diteliti adalah curah hujan yang memiliki sifat dinamis, diperlukan penelitian lebih lanjut menggunakan data citra satelit penginderaan jauh yang memiliki resolusi temporal yang sangat tinggi, seperti radar untuk dapat menyajikan informasi secara aktual.
3. Penggunaan data curah hujan harian (aktual) sebaiknya diperoleh dari instansi terkait serta memiliki nilai yang merepresentasikan kondisi sebenarnya di lapangan, baik dari segi distribusi maupun jumlah data, agar dapat digunakan untuk membangun persamaan regresi yang dapat mengestimasi curah hujan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriansyah, M. 2017. *BPBD Jatim: Bencana terparah tahun 2017 terjadi di Pacitan & Sidoarjo*. Jawa Timur. <URL: <https://www.merdeka.com/peristiwa/bpbd-jatim-bencana-terparah-tahun-2017-terjadi-di-pacitan-sidoarjo.html>>. Dikunjungi pada 27 Juni 2018
- Ansari. 2008. *Konsep Dasar Klimatologi: Pelatihan Pemanfaatan Informasi Iklim*. Gambung: Pusat Penelitian Teh dan Kina Kebun Panglejar
- Aronoff, S. 1989. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*. Canada: WDL Publications
- Bakosurtanal. 2003. *Peta Topografi Provinsi Jawa Timur*
- Barret, E. C. 1974. *Climatology from Satellites*. London: Methuen
- Behrangi, A., Koulin, H., Bisher, I., & Soroosh, S. 2010. *Daytime Precipitation Estimation Using Bispectral Cloud Classification System*. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49, 1015–1031
- BMKG. 2010. *Press Release Kondisi Cuaca Ekstrem dan Iklim Tahun 2010-2011*. Jakarta. <URL:<http://data.bmkg.go.id/share/Dokumen/pressreleasekondisicuaaekstrimdaniklimtahun2010-2011.pdf>>. Dikunjungi pada 15 Desember 2017
- BMKG. 2017. *Press Release Peringatan Dini Cuaca Ekstrem Tanggal 26-28 November 2017 di Wilayah Jawa Timur*. Surabaya. <URL:http://juanda.jatim.bmkg.go.id/buletin/cueks_2628november.pdf>. Dikunjungi pada 15 Desember 2017
- BMKG. 2018. *Data Online Pusat Database BMKG*. <URL:http://dataonline.bmkg.go.id/mcstation_metadata>. Dikunjungi pada 9 Februari 2018
- BPS Provinsi Jawa Timur. 2017. *Provinsi Jawa Timur Dalam Angka 2017*. Surabaya. <URL:<https://jatim.bps.go.id/publication/2017/08/11/d618ba11975447a5fffa5f48/provinsi-jawa-timur-dalam-angka>>

- 2017.html>. Dikunjungi pada 9 Januari 2018
- Buana, F. I. 2012. *Estimasi Curah Hujan Menggunakan Citra MODIS di Sebagian Daerah Jawa Tengah*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- C. Coll, Caselles, V., Sobrino, J. A., & Valor, E. 1994. *On the Atmospheric Dependence of the Split-Window Equation for Land Surface Temperature*. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15 (1), 105–122
- Darajat, R. 2014. *Identifikasi Pola Curah Hujan Pada Kondisi El-Nino Melalui Citra MODIS di Provinsi Jawa Timur*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
- Dayantolis. 2008. *Faktor Fisis Pembentukan Awan dan Hujan*. Badan Meteorologi dan Geofisika Manado.
- Hao Yan dan Song Yang. 2007. *A MODIS Dual Spectral Rain Algorithm*. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 46, 1305–1323
- Hasan, M. I. 2013. *Pokok-pokok Materi Statistik I (Statistik Deskriptif) (Edisi Kedua)*. Jakarta: Bumi Aksara
- Jaelani, L. M., Setiawan, F., & Matsushita, B. 2015. *Uji Akurasi Produk Reflektan-Permukaan Landsat Menggunakan Data In situ di Danau Kasumigaura , Jepang*. *Pertemuan Ilmiah Tahunan Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN) XX*, (Agustus), 9–16
- Khairullah. 2008. *Instrumen Klimatologi*. Banjarbaru
- LAADS DAAC. 2018. *Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System*. <URL:<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov>>. Dikunjungi pada 4 Februari 2018
- Lillesand dan Kiefer. 1990. *Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Lo, C. P. 1996. *Penginderaan Jauh Terapan*. Jakarta: UI Press
- Mahmudi. 2014. *Analisis Penelitian DEM ASTER GDEM, SRTM dan LIDAR Untuk Identifikasi Area Pertanian Tebu Berdasarkan Parameter Kelerengan (Studi Kasus: Distrik*

- Tubang, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua*). Semarang: Universitas Diponegoro.
- Mather, P. M. 2004. *Computer Processing of Remotely Sensed Data (An Introduction)*. Brisbane: John Wiley and Sons
- Mustofa, A. 2009. *Mengamati Lingkungan Global dari Angkasa*. Jepang: Chiba University
- NASA. 2018a. *Information for MODIS Aqua and Terra parameters*. <URL:<http://mcst.gsfc.nasa.gov/calibration/parameters>>. Dikunjungi pada 28 Januari 2018
- NASA. 2018b. *Information for MODIS Aqua and Terra specifications*. <URL:<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>>. Dikunjungi pada 28 Februari 2018
- Purwadhi, S. H. 2001. *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta: Grasindo
- Qian, J. ., Robertson, A. ., & Moron, V. 2010. *Interaction Among ENSO, The Monsoon and Diurnal Cycle in Rainfall Variability over Java, Indonesia*. *Journal of Atmospheric Science*, 67, 3509–3524.
- Rumondang, D. 2011. *Penurunan Nilai Albedo dan Suhu Permukaan dari Data TERRA MODIS L1B untuk Klasifikasi Awan*. Skripsi. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Sinclair, M. R. 1994. *Diagnostic Model for Estimating Orographic Precipitation*. *Journal of Applied Meteorology*, 33, 1163–1175.
- Stull, R. 2000. *Meteorology for Scientists and Engineers*. USA: Brooks Cole Thomson Learning
- Sukojo, B. M. 2012. *Penginderaan Jauh (Dasar Teori dan Terapan)*. Surabaya: ITS Press
- Susilowati. 2010. *Analisa Karakteristik Curah Hujan dan Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) di Provinsi Lampung*. *Jurnal Rekayasa*, 14 (1). <URL:<http://ft-sipil.unila.ac.id/ejournals/index.php/jrekayasa/article/download/58/pdf>>. Dikunjungi pada 9 Februari 2018
- Sutanto. 1994. *Penginderaan Jauh (Jilid II)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Tjasyono, B. 2009. *Meteorologi Indonesia Volume I (Vol. I)*.

Jakarta: BMKG Pusat

- Tjasyono, B. 2012. *Mikrofisika Awan dan Hujan*. Jakarta: BMKG Pusat
- Wen, X., Liu, L., Dong, X., & Dai, Q. 2008. *A new prompt algorithm for removing Bowtie effect of MODIS L1B data. Proceedings - 1st International Congress on Image and Signal Processing, CISP 2008*, 4, 663–667
- Wibowo, H. 2006. *Desain Prototipe Alat Pengukur Curah Hujan Jarak Jauh dengan Pengendali Komputer*. Universitas Negeri Jember.
<URL:<http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/26502>>. Dikunjungi pada 8 Februari 2018
- Widodo, H., & Gunawan, T. 1998. *Pemanfaatan Data Satelit Cuaca GMS untuk Estimasi Curah Hujan di Kabupaten Bandung Jawa Barat dan sekitarnya*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada
- Xiao, X., Boles, S., Froking, S., Li, C., Babu, J. Y., Salas, W., & Moore, B. 2006. *Mapping Paddy Rice Agriculture in South and Southeast Asia using Multi-temporal MODIS Images*, 100, 95–113
- Xiong, J., Toller, G., Chiang, V., Sun, J., Esposito, J., & Barnes, W. 2013. *MODIS Level 1B Algorithm Theoretical Basis Document*. <URL:http://mcst.gsfc.nasa.gov/sites/mcst.gsfc/files/file_attachments/MODIS_L1B_ATBD_ver4.pdf>. Dikunjungi pada 15 Desember 2017