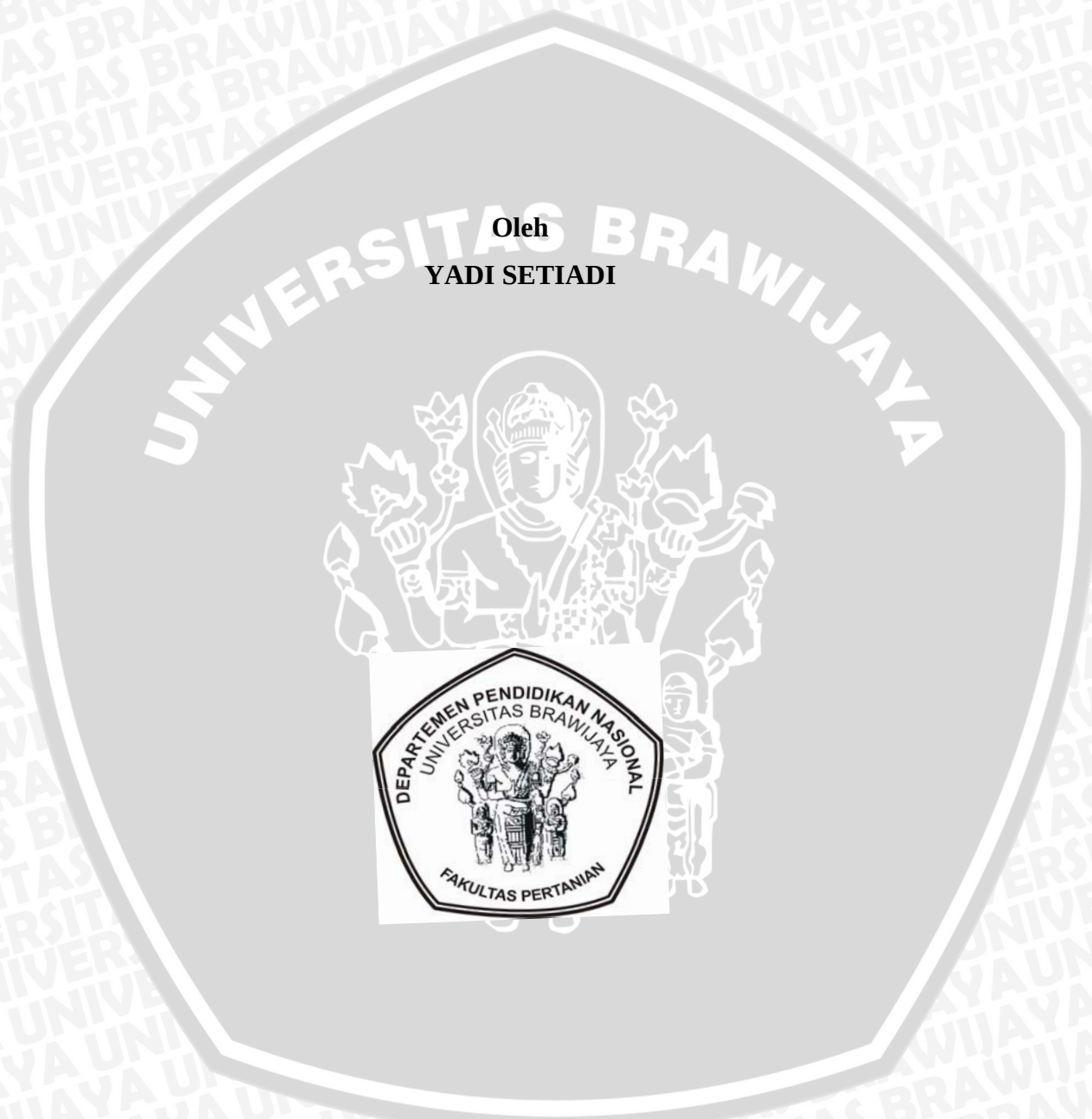


**PEMANFAATAN CITRA SATELIT ASTER DALAM ESTIMASI
DISTRIBUSI SPASIAL POTENSI KEKERINGAN LAHAN DI DAS
NGASINAN, TRENGGALEK, JAWA TIMUR**

Oleh
YADI SETIADI



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
PS. ILMU TANAH
MALANG
2009**

**PEMANFAATAN CITRA SATELIT ASTER DALAM ESTIMASI
DISTRIBUSI SPASIAL POTENSI KEKERINGAN LAHAN DI DAS
NGASINAN, TRENGGALEK, JAWA TIMUR**

Oleh

YADI SETIADI
0510432001-43

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh Gelar
Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

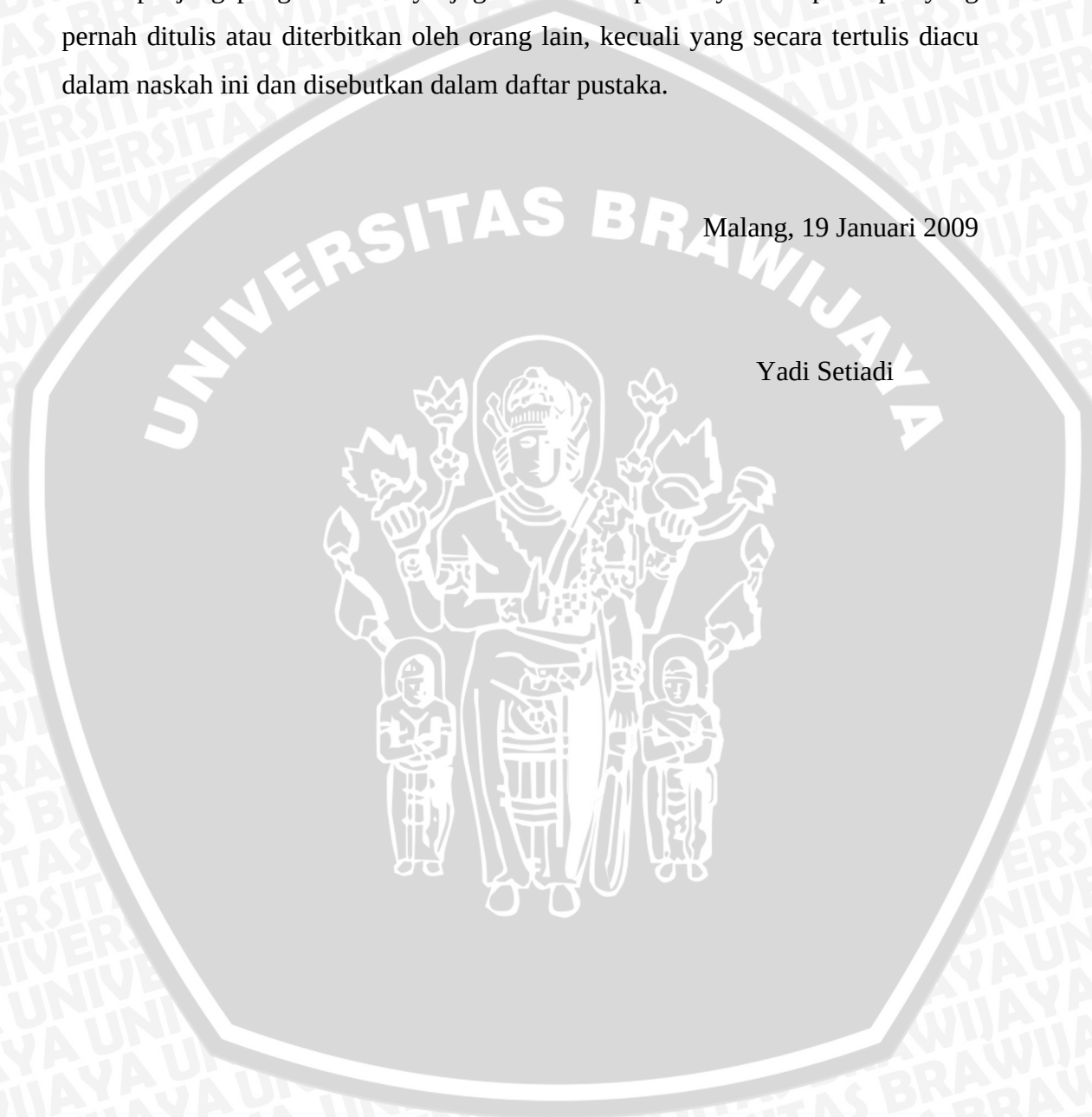
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
PS. ILMU TANAH
MALANG
2009

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, 19 Januari 2009

Yadi Setiadi



Judul Skripsi : **PEMANFAATAN CITRA SATELIT ASTER
DALAM ESTIMASI DISTRIBUSI SPASIAL
POTENSI KEKERINGAN LAHAN DI DAS
NGASINAN, TRENGGALEK, JAWA TIMUR**

Nama Mahasiswa : **YADI SETIADI**

NIM : 0510432001-43

Jurusan : TANAH

Menyetujui : Dosen Pembimbing

Utama,

Dr. Ir. Sudarto, MS
NIP. 131 281 903

Pendamping,

Ir. Rizatus Shofiyati, M.Sc
NIP. 080 102 159

Mengetahui,
Ketua Jurusan

Prof. Dr. Ir. Mochtar Luthfi Rayes, M.Sc
NIP. 130 818 808

Tanggal Persetujuan :

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I

Penguji II

Prof. Dr. Ir. Mochtar Luthfi Rayes, M.Sc
NIP. 130 818 808

Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS
NIP. 130 935 806

Penguji III

Penguji IV

Dr. Ir. Sudarto, MS
NIP. 131 281 903

Ir. Rizatus Shofiyati, M.Sc
NIP. 080 102 159

Tanggal Lulus :



RINGKASAN

YADI SETIADI. 0510432001-43. Pemanfaatan Citra Satelit Aster dalam Estimasi Distribusi Spasial Potensi Kekeringan Lahan di DAS Ngasinan, Trenggalek, Jawa Timur. Di bawah bimbingan Dr. Ir. Sudarto, MS. sebagai Pembimbing Utama, Ir. Rizatus Shofiyati, M.Sc. sebagai Pembimbing Pendamping.

Kekeringan lahan di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Penyebab terjadinya kekeringan lahan adalah perubahan penggunaan lahan dan terjadinya perubahan iklim global. Salah satu metode untuk menganalisis potensi kekeringan lahan adalah dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG). Penelitian bertujuan untuk memprediksi secara spasial distribusi potensi kekeringan lahan dan luasannya berdasarkan kajian evapotranspirasi dan kelengasan lahan. Penelitian ini dilaksanakan di DAS Ngasinan, Trenggalek, Jawa Timur pada bulan Mei 2007-Oktober 2008.

Metode yang digunakan adalah metode neraca keseimbangan energi permukaan lahan, fraksi evaporasi (EF), dan kelengasan lahan pada citra Aster. Pengolahan citra Aster menghasilkan beberapa parameter untuk penentuan evapotranspirasi dan tingkat kelengasan lahan. Parameter tersebut adalah albedo, emisivitas, dan indeks vegetasi ($NDVI$) yang kemudian dijadikan sebagai input dalam neraca keseimbangan energi permukaan lahan ($LE=Rn-G-H$) dan fraksi evaporasi ($EF=LE/Rn-G$). Nilai EF berkisar antara 0–1, nilai EF semakin rendah maka potensi kekeringan akan semakin tinggi. Kemudian dilakukan analisis korelasi regresi nonlinier antara indeks lahan ($NDSI$, $NDVI$, $NDWI$) dengan kadar lengas tanah untuk mendapatkan model estimasi kelengasan lahan. Fraksi evaporasi (EF) dan kelengasan lahan kemudian dijadikan sebagai input untuk pendugaan potensi kekeringan. Pendugaan dilakukan dengan analisis SIG yaitu dengan melakukan tumpang tindih pembobotan (*Weighted Overlay*) pada *Model Builder*. Hasil pembobotan ini kemudian menghasilkan citra potensi kekeringan yang dibagi menjadi tiga kelas potensi kekeringan, yaitu kelas Rendah (daerah yang tidak berpotensi mengalami kekeringan), kelas Sedang (daerah yang berpotensi mengalami kekeringan sedang), dan kelas Tinggi (daerah yang berpotensi tinggi untuk mengalami kekeringan).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas potensi kekeringan yang paling dominan pada wilayah penelitian ini adalah kelas sedang dengan luas 65.700,46 ha diikuti dengan kelas potensi kekeringan tinggi dengan luas 9.281,34 ha dan kelas potensi kekeringan rendah dengan luas 2.955,29 ha. Potensi kekeringan dengan kelas tinggi dominan terjadi di Kecamatan Pogalan, diikuti dengan Kecamatan Durenan, Tugu, Karang, Trenggalek dan Pagerwojo. Potensi kekeringan dengan kelas sedang hampir semuanya menyebar secara merata di setiap Kecamatan, dan terluas berada pada Kecamatan Karang, Kampak, Bendungan, Trenggalek dan Tugu. Sedangkan pada potensi kelas kekeringan rendah sebanyak 35,01 % dan 31,51 % berada pada Kecamatan Besuki dan Watulimo dengan luas wilayah 1.034,65 ha dan 931,34 ha.

SUMMARY

YADI SETIADI. 0510432001-43. Utilization of Aster Satellite Imagery to Estimating Spatial Distribution of Land Drought Potency in Ngasinan Watershed, Trenggalek, East Java. Supervisor : Dr. Ir. Sudarto, MS., Co-Supervisor : Ir. Rizatus Shofiyati, M.Sc.

Land droughts in Indonesia from year to year more progressively increased. Droughts is caused by landuse changes and global climate changes. Droughts can be analyze with remote sensing and GIS (Geographic Information Systems) technology. This research is aimed to predict spatial distribution of land droughts and its area using remote sensing and GIS technology based on evapotranspiration and soil moisture study. This research was conducted in Ngasinan watersheds, Trenggalek, East Java from May 2007 through October 2008.

The method used in this research are surface energy balance, evaporative fraction (*EF*), and soil moisture from Aster images. Processing of Aster data has derived several parameters to determining of evapotranspiration and soil moisture. The parameter is albedo, emissivity, and vegetation indices (*NDVI*). Those parameters are used in surface energy balance and evaporative fraction (*EF*) input. Range value of *EF* is 0-1, and lower *EF* value is increasing of drought potency. Land moisture estimation models was created from nonlinier regression analysis between land indices (*NDSI*, *NDVI*, *NDWI*) and field soil moisture. The evaporative fraction (*EF*) and soil moisture are used in as input to predict of drought potency. Estimation of drought potency class is conducted by using weighted overlay on model builder in GIS analysis. The result of this weighted overlay is land drought potency maps. This result is divided into three classes of drought potency. That is Low class (area which low potency of drought), Moderate class (area which moderate potency of drought), and the High class (area which have the high potency of drought).

The result shows that drought potency class in this research study is dominated by moderate class (65.700,46 ha), followed by high class (9.281,34 ha), and low class (2.955,29 ha). A high class potency of drought are occurred in Pogalan Subdistrict, and followed by Durenan, Tugu, Karang, Trenggalek, and Pagerwojo. A Moderate class potency of drought is almost spread on every each subdistrict and the most wide areas is in Karang, Kampak, Bendungan, Trenggalek, and Tugu. Whereas 35,01% and 31,51% are low class of drought potency is occurred in Besuki (1.034,65 ha) and Watulimo Subdistrict (931,34 ha).

KATA PENGANTAR

Bismillaahirrohmaanirrohiim.

Assalamu'alaikum Wr. Wb. Puji dan syukur kehadirat Allah SWT serta salawat dan salam kepada Nabi besar Muhammad SAW beserta keluarga dan sahabatnya atas segala kenikmatan dan kesempatan yang diberikan kepada penulis selama pelaksanaan kegiatan penelitian sampai penyusunan skripsi.

Penulisan skripsi ini tidak akan berjalan jika tanpa bantuan semua pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Dr. Ir. Sudarto, MS dan Ir. Rizatus Shofiyati, M.Sc sebagai Dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan pengarahan kepada penulis selama kegiatan penelitian hingga penyusunan skripsi.
2. Ibunda tercinta yang kasih sayangnya tak terhingga, Bapak (Alm) yang telah bahagia di Surga, Kakak dan Adikku tersayang beserta Keluarga yang telah memberikan dukungan baik moril, materi dan do'a restunya selama ini.
3. Silfiyanti Sobandi atas dukungan, pengertian, dan kasih sayangnya selama ini.
4. Mas Dani, Andreas, Adi, Hendra, Singgih, Ari, Dafi, Cicik, Firsta, Nila, Mbak Lina dan Mbak Kris atas keceriaan, persahabatan, canda tawa, serta dukungan dan kerjasamanya selama melakukan penelitian.
5. Teman-teman di Jurusan Tanah, khususnya Tanah 2004 (Ryan, Azis, Dimas, Toha, Rudi, Ferry, Mery, Indra, Prio, Danny, Yefri, dll) atas persahabatan, kebersamaan dan kekompakkannya, sukses selalu untuk kalian semua.
6. Serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi para pembaca sekalian. Amien.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Malang, 19 Januari 2009

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR PERSAMAAN	ix
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR ISTILAH	xii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Hipotesis.....	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1. Kekeringan Lahan	5
2.2. Evapotranspirasi.....	6
2.3. Metode Neraca Energi	6
2.4. Kelengasan Lahan	7
2.5. Metode Pengukuran Lengas Lahan	8
2.6. Citra Aster	8
2.7. Penginderaan Jauh Satelit Untuk Estimasi Kekeringan.....	11
III. METODE PENELITIAN	13
3.1. Tempat dan Waktu	13
3.2. Alat dan Bahan	13
3.2.1. Alat.....	13
3.2.2. Bahan.....	13
3.3. Metode Penelitian	13
IV. KONDISI UMUM WILAYAH PENELITIAN.....	33
4.1. Lokasi	33
4.2. Geologi.....	35
4.3. Iklim	44
4.4. Bentuk Lahan (<i>Landform</i>).....	44
4.5. Elevasi.....	49
4.6. Lereng	49
4.7. Tanah.....	50
4.8. Penggunaan Lahan	52

V. HASIL DAN PEMBAHASAN	54
5.1. Analisis Hasil Pengolahan Citra Aster	54
5.2. Analisis Parameter Biofisik	54
5.2.1. Analisis Albedo Permukaan	55
5.2.2. Analisis Emisivitas Permukaan	56
5.2.3. Analisis Indeks Vegetasi (<i>NDVI</i>)	58
5.2.4. Hubungan antara Albedo, Emisivitas, dan <i>NDVI</i>	59
5.3. Analisis Temperatur Permukaan Lahan	60
5.4. Analisis Neraca Keseimbangan Energi Permukaan Lahan	61
5.4.1. Radiasi Netto	62
5.4.2. Fluks Pemanasan Tanah	63
5.4.3. Fluks Pemanasan Udara	65
5.4.4. Fluks Energi Laten	66
5.5. Pengaruh Temperatur Terhadap Evapotranspirasi	68
5.6. Pengaruh Penggunaan Lahan Terhadap Evapotranspirasi	68
5.7. Hubungan Antara Indeks Lahan (<i>NDSI</i> , <i>NDVI</i> , <i>NDWI</i>) dan Kelengasan Lahan	70
5.8. Identifikasi Potensi Kekeringan Lahan	74
5.9. Analisis Sebaran dan Luas Potensi Kekeringan	75
5.10. Hubungan antara Curah Hujan dan Potensi Kekeringan	78
VI. KESIMPULAN DAN SARAN	81
6.1. Kesimpulan	81
6.2. Saran	82
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	87

DAFTAR TABEL

No	Teks	Halaman
1.	Perbandingan spektrum citra ASTER dan Landsat TM.....	9
2.	Spesifikasi Satelit Aster	10
3.	$ESUN_{\lambda}$ Citra Aster.....	19
4.	Daftar Kecamatan di DAS Ngasinan.....	34
5.	Satuan Geologi DAS Ngasinan.....	43
6.	Satuan <i>Landform</i> (Bentuk Lahan) DAS Ngasinan.....	45
7.	Satuan Lereng DAS Ngasinan.....	50
8.	Jenis Tanah dan Singkapan Batuan DAS Ngasinan.....	52
9.	Nilai Albedo Citra Aster DAS Ngasinan.....	56
10.	Nilai Emisivitas Citra Aster DAS Ngasinan.....	57
11.	Nilai <i>NDVI</i> Citra Aster DAS Ngasinan.....	58
12.	Nilai Albedo, Emisivitas dan <i>NDVI</i>	60
13.	Nilai Radiasi Netto Citra Aster DAS Ngasinan.....	62
14.	Nilai Fluks Tanah Citra Aster DAS Ngasinan.....	64
15.	Nilai Fluks Panas Udara Citra Aster DAS Ngasinan.....	66
16.	Nilai Suhu Permukaan dan Evapotranspirasi.....	68
17.	Nilai Evapotranspirasi pada Penggunaan Lahan.....	69
18.	Nilai Indeks Lahan dan Data Lengas Lahan.....	71
19.	Kriteria Nilai Pembobotan Identifikasi Potensi Kekeringan.....	75
20.	Sebaran dan Luasan Potensi Kekeringan.....	76

DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Halaman
1.	Diagram Alir Latar Belakang Penelitian.....	4
2.	Diagram Alir Metode Penelitian.....	32
3.	Peta Lokasi Penelitian.....	33
4.	Peta Administrasi Wilayah DAS Ngasinan.....	34
5.	Peta Geologi DAS Ngasinan.....	42
6.	Rata-rata CH Bulanan di 3 Stasiun Daerah Penelitian (1994-2003).....	44
7.	Peta <i>Landform</i> DAS Ngasinan.....	48
8.	Peta Elevasi DAS Ngasinan.....	49
9.	Peta Lereng DAS Ngasinan.....	50
10.	Peta Jenis Tanah DAS Ngasinan.....	51
11.	Peta Penggunaan Lahan DAS Ngasinan.....	52
12.	Citra Albedo DAS Ngasinan.....	55
13.	Citra Emisivitas DAS Ngasinan.....	57
14.	Citra <i>NDVI</i> DAS Ngasinan.....	59
15.	Citra Suhu Permukaan DAS Ngasinan.....	61
16.	Skema Konseptual Neraca Energi Permukaan Lahan.....	62
17.	Citra Radiasi Netto DAS Ngasinan.....	63
18.	Citra Fluks Panas Tanah DAS Ngasinan.....	64
19.	Citra Fluks Panas Udara DAS Ngasinan.....	65
20.	Citra Fluks Energi Laten DAS Ngasinan.....	66
21.	Citra Evapotranspirasi DAS Ngasinan.....	67
22.	Karakteristik Spektral.....	70
23.	Citra Indeks Lahan DAS Ngasinan.....	72
24.	Citra Lengas Lahan DAS Ngasinan.....	73
25.	Citra Fraksi Evaporasi DAS Ngasinan.....	74
26.	Citra Potensi Kekeringan DAS Ngasinan.....	75
27.	Curah Hujan Tahunan (1994-2003) dari setiap Stasiun.....	79
28.	Rata-rata Curah Hujan Bulanan (1994-2003) dari setiap Stasiun.....	79

DAFTAR PERSAMAAN

No	Teks	Halaman
1.	Neraca Keseimbangan Energi.....	7
2.	Spektral Radian(L_{λ})	16
3.	Radiasi Netto (R_n).....	17
4.	Albedo (α^{Aster}).....	18
5.	Reflektan.....	18
6.	Sudut Zenith Matahari (θ_z).....	19
7.	Sudut Waktu (ω).....	19
8.	Perhitungan LAT	20
9.	Perhitungan E_t	20
10.	Sudut Hari (Γ).....	20
11.	Radiasi Matahari (R_{swd}).....	20
12.	Perhitungan N	21
13.	Sudut Matahari Terbenam (ω_s).....	21
14.	Perhitungan φ	21
15.	Deklinasi Matahari (δ).....	21
16.	Ekstraterrestrial Radiasi (R_a).....	22
17.	Invers Jarak Relatif Bumi-Matahari (d_r).....	22
18.	Perhitungan Emisivitas Permukaan (ε).....	22
19.	Fraksi Vegetasi (P_v).....	23
20.	Perhitungan $NDVI$	23
21.	Perhitungan R_{twd}	23
22.	Perhitungan ε_a	24
23.	Temperatur Udara T_a	24
24.	Perhitungan T_c	24
25.	Perhitungan T_o	25

26.	Fluks Pemanasan Tanah (G).....	25
27.	Fluks Pemanasan Udara (H).....	26
28.	Kerapatan Jenis Udara (ρ_a).....	26
29.	Tekanan Atmosfer (P).....	26
30.	Perhitungan r_a	27
31.	Jarak Tinggi Vegetasi (d).....	27
32.	Ketinggian Vegetasi (h).....	27
33.	Perhitungan z_{om}	28
34.	Perhitungan z_{oh}	28
35.	Fluks Energi Laten (LE).....	28
36.	Fraksi Evaporasi (EF).....	29
37.	Kadar Lemas Tanah (KA).....	29
38.	Perhitungan $NDVI$	30
39.	Perhitungan $NDSI$	30
40.	Perhitungan $NDWI$	30

DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	Halaman
1.	Data Curah Hujan Bulanan (mm) tiap Stasiun di DAS Ngasinan	88
2.	Peta Poligon Thiessen DAS Ngasinan	90
3.	Peta Suhu Udara DAS Ngasinan.....	91
4.	Peta Titik Pengamatan DAS Ngasinan	92
5.	Data Lengan Tanah Hasil Analisis Laboratorium	93
6.	Hasil Analisis Statistika Indeks Lahan (<i>NDSI</i> , <i>NDVI</i> , dan <i>NDWI</i>) dengan Lengan Tanah	94



DAFTAR ISTILAH

Albedo (α) : Fraksi radiasi matahari yang dipantulkan oleh permukaan bumi.

Analisis Komponen Utama : Merupakan suatu teknik analisis statistik untuk mentransformasi peubah-peubah asli yang masih saling berkorelasi satu dengan yang lain menjadi satu set peubah baru yang tidak berkorelasi lagi. Peubah-peubah baru itu disebut sebagai komponen utama.

Analisis Regresi : Sebuah alat statistik yang memberikan penjelasan tentang pola hubungan (model) antara dua variabel atau lebih. Dalam analisis regresi, dikenal dua jenis variabel yaitu : Variabel Respon dan Variabel Prediktor. Variabel Respon disebut juga variabel *dependent* yaitu variabel yang keberadaannya dipengaruhi oleh variabel lainnya dan dinotasikan dengan Y. Variabel Prediktor disebut juga variabel *independent* yaitu variabel yang bebas (tidak dipengaruhi oleh variabel lainnya) dan dinotasikan dengan X.

Aster : *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*, adalah salah satu sensor citra yang dikembangkan oleh Jepang.

Band : Disebut juga *channel* atau saluran. Suatu kisaran spektrum elektromagnetik yang dirancang untuk kepentingan misi tertentu pada sebuah pengindera. Sebuah pengindera sekurang-kurangnya memiliki satu saluran.

Blackbody : Substansi ideal yang menyerap semua energi radian dan mengemisikan radian energi tersebut pada kecepatan maksimum rata-rata setiap unit wilayah pada panjang gelombang dan temperatur yang sama. Tidak ada benda yang benar-benar mempunyai sifat benda hitam.

Bowen Rasio : Perbandingan antara fluks pemanasan udara (H) dengan fluks energi laten (LE). Nilai Bowen Rasio semakin besar, potensi kekeringan semakin tinggi.

Citra : Gambaran kenampakan permukaan bumi hasil penginderaan pada spektrum elektromagnetik tertentu yang ditayangkan pada layar atau disimpan pada media rekam/cetak.

Citra Satelit : Citra hasil penginderaan suatu jenis satelit tertentu.

Digital Elevation Model (DEM) : Suatu penyajian elevasi digital tentang permukaan lahan. *DEM* sering digunakan sebagai referensi untuk serangkaian nilai elevasi titik-titik melalui grid segi empat.

Digital Number (DN) : Nilai pada suatu pixel dalam gambar digital.

Emisivitas (ε) : Persentase radiasi gelombang panjang yang diemisikan oleh suatu jenis tutupan lahan dari radiasi gelombang panjang yang diemisikan secara keseluruhan oleh benda hitam (*blackbody*) pada panjang gelombang temperatur yang sama.

ERSDAC : EROS Data Center.

Evaporative Fraction (EF) : Perbandingan antara fluks energi laten, radiasi netto, dan fluks pemanasan tanah. Nilai *EF* semakin rendah maka potensi kekeringan pada daerah yang diteliti akan semakin tinggi.

Fluks Pemanasan Tanah (G) : Fluks pemanasan tanah adalah energi yang digunakan untuk memanaskan tanah.

Fluks Pemanasan Udara (H) : Aliran energi melalui udara sebagai temperatur gradien.

Foto Udara : Foto yang diambil dari wahana pesawat layang atau pesawat terbang.

Gelombang Elektromagnetik : Jarak antara puncak panjang gelombang atau kesetaraan titik pada gelombang harmonik.

GPS (Global Positioning System) : Adalah sistem satelit navigasi dan penentuan posisi yang dimiliki dan dikelola oleh Amerika Serikat. Sistem ini didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga-dimensi serta informasi mengenai waktu, secara kontinyu di seluruh dunia tanpa bergantung waktu dan cuaca, bagi banyak orang secara simultan.

Ground Control Point (GCP) : Titik kontrol tanah yang digunakan sebagai acuan dalam proses koreksi geometrik.

Ground Resolution : sel area pada *terrain* yang terjangkau oleh detektor satelit.

Histogram : Tampilan grafis dari frekuensi relatif distribusi *digital number (DN)* pada sebuah *band* citra.

Interpretasi : Proses penafsiran dan pengekstrakan informasi dari citra.

Kelembaban Nisbi : Banyaknya uap air yang terdapat dalam udara pada temperatur tertentu dibandingkan dengan banyaknya uap air yang dapat dikandung secara maksimum pada temperatur tersebut. Kelembaban nisbi dinyatakan dalam persen (%).

Klasifikasi : Proses pengolahan data citra menjadi peta tematik. Proses klasifikasi dapat berupa proses digital maupun proses manual.

Koordinat : Suatu besaran untuk menyatakan letak atau posisi suatu titik di lapangan dalam suatu sistem referensi koordinat tertentu.

Konveksi : Adalah proses pemanasan secara mengalir.

Koreksi Geometrik Citra : Kegiatan ini juga sering dinamakan rektifikasi. Memperbaiki kemencengan, rotasi dan perspektif citra sehingga orientasi, proyeksi dan anotasinya sesuai dengan yang ada pada peta. Koreksi geometrik terdiri dari koreksi sistematis (karena karakteristik alat) dan non sistematis (karena perubahan posisi penginderaan). Koreksi sistematis biasanya telah dilakukan oleh penyedia data. Koreksi non sistematis biasanya dilakukan dengan suatu proses koreksi geometrik. Proses ini memerlukan ikatan yang disebut titik kontrol medan (*ground control point/GCP*). *GCP* tersebut dapat diperoleh dari peta, citra yang telah terkoreksi atau tabel koordinat penjurur. *GCP* kemudian disusun menjadi matriks transformasi untuk rektifikasi citra.

Koreksi Radiometrik Citra : Koreksi pada citra dan kesalahan pada sensor yang diakibatkan oleh gangguan atmosfer. Gangguan ini mengakibatkan perubahan pada nilai piksel, karena akibat hamburan dan serapan radiasi gelombang elektromagnetik oleh atmosfer.

Landsat : Seri satelit sumberdaya alam milik NASA (Amerika Serikat). Sebelumnya bernama *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS). Landsat 1 diluncurkan 23 Juli 1972, diikuti kemudian oleh Landsat 2 (22 Januari 1975), Landsat 3 (5 Maret 1978). Satelit ini mengusung pengindera MSS dan RBV. Pengindera ini berkembang menjadi TM (Landsat 4 dan 5) kemudian ETM+ (Landsat 7).

Layer : Suatu liputan geografis yang berisikan jenis informasi tertentu. Berbagai jenis informasi pada liputan geografis yang sama disebut *multi layer*. Untuk konteks citra penginderaan jauh digital, *layer* dan *band* mengandung pengertian yang sama.

Metode Quadratic : Suatu model kurva estimasi dengan persamaan $Y = b_0 + (b_1 * t) + (b_2 * t^2)$.

Modis : *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*.

Mosaik : Hasil penggabungan beberapa liputan citra/foto udara dengan luasan kecil menjadi satu liputan citra/foto udara dengan luasan lebih besar. Mosaik dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh tentang lokasi yang diamati.

Nadir : Titik yang berada tepat tegak lurus satelit di permukaan bumi.

NASA : *National Aeronautics and Space Administration*. Lembaga Penerbangan dan Ruang Angkasa Amerika Serikat.

Near Infra Red (NIR) : infra merah dekat.

NDSI : *Normalized Difference Soil Index*, suatu indeks yang merepresentasikan kondisi tanah.

NDVI : *Normalized Difference Vegetation Index*, suatu indeks yang merepresentasikan tingkat kehijauan vegetasi.

NDWI : *Normalized Difference Water Index*, suatu indeks yang merepresentasikan tingkat kebasahan.

Orbit : Bidang eliptik yang ditempuh benda angkasa secara reguler jalur (*trajectory*) yang ditempuh satelit ketika mengitari bumi.

Penajaman Citra : Proses perentangan kontras warna yang ditayangkan pada *layer* untuk memudahkan diferensiasi objek secara visual. Proses tersebut dapat mempergunakan metode peningkatan kontras, penajaman tepi, penapisan (*filtering*), dll.

Penginderaan Jauh : Pengumpulan dan pencatatan informasi tanpa kontak langsung pada kisaran elektromagnetik ultraviolet, tampak, inframerah dan mikro dengan mempergunakan peralatan seperti penyiam (*scanner*) dan kamera yang ditempatkan pada wahana bergerak seperti pesawat udara atau

pesawat angkasa dan menganalisis informasi yang diterima dengan teknik interpretasi foto, citra dan pengolahan citra.

Pixel : Elemen dari setiap data rekaman sensor baik dalam bentuk raster, matriks, atau grid dua dimensi yang nilai koordinatnya diketahui dan nilai intensitasnya diwakili oleh suatu nilai *digital number (DN)*.

Priestley & Taylor Koefisien : Salah satu model untuk menduga evapotranspirasi potensial.

Radiasi Netto (R_n) : Perbedaan antara radiasi yang masuk dan keluar dari panjang gelombang pendek dan panjang gelombang jauh.

Raster : Suatu penyajian data spasial sebagai matriks sel yang memegang nilai-nilai atribut.

Reradiasi : Permukaan daun yang melepaskan energi.

Resolusi : Ukuran ketelitian data citra satelit.

Resolusi *Spatial* : Ukuran objek terkecil yang dapat dibedakan dengan objek lain. Pada citra raster berarti ukuran 1 (satu) pixel data di lapangan. Pada citra optik (fotografik) dapat diartikan ukuran 1 (satu) detik busur medan pandang di lapangan.

Satelit : Benda angkasa (alam/buatan) yang mengitari benda angkasa lain yang berukuran lebih besar benda buatan/kendaraan yang dirancang mengitari bumi, bulan atau benda angkasa lain.

Skala : Perbandingan ukuran jarak di atas peta dengan jarak bersangkutan di muka bumi dan dinyatakan dengan besaran perbandingan (rasio).

Sistem Informasi Geografis (SIG) : Merupakan suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumberdaya manusia yang bekerja sama secara efektif untuk menangkap, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa, dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis.

Short Wave InfraRed (SWIR) : gelombang pendek infra merah.

Spectral Resolution : Kisaran spektrum elektromagnetik yang dipergunakan oleh perangkat pengindra.

Stereoscopic : Suatu alat binokular optik untuk melihat permukaan citra yang saling bertampalan sehingga dapat menghasilkan gambar 3 dimensi.

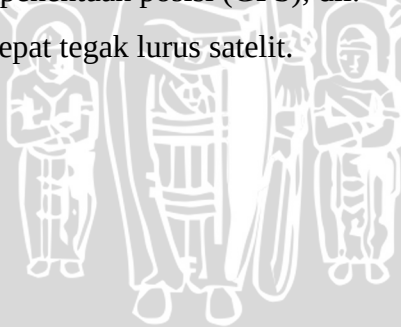
Terra : Satelit berorbit sinkron matahari milik NASA.

Thermal Infra Red : Termal infra merah.

Unsupervised Classification : Suatu proses operasi numerik yang digunakan komputer untuk mengelaskan nilai spektral dari *pixel-pixel* yang sama dan bertujuan untuk mengelaskan suatu penggunaan lahan.

Wahana : Benda buatan manusia yang berdiri pada perangkat (menara, kran, pohon, tangga, bukit, dll), yang melayang, yang terbang di atas permukaan bumi (wahana dirgantara) atau mengorbit bumi (wahana angkasa) yang dipergunakan sebagai landasan perangkat pengindra. Benda yang melayang biasanya berupa balon udara. Benda yang terbang dapat berupa pesawat terbang atau pesawat layang baik berawak maupun tidak. Benda yang mengorbit dapat berupa satelit, pesawat ruang angkasa maupun stasiun ruang angkasa. Benda yang mengorbit tersebut dirancang untuk penginderaan bumi (sumberdaya alam, cuaca, militer), penginderaan angkasa, komunikasi, penentuan posisi (GPS), dll.

Zenith : Titik yang berada tepat tegak lurus satelit.



I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Suatu kondisi dimana musim kemarau lebih lama dibandingkan musim hujan merupakan indikasi terjadinya kekeringan. Kekeringan lahan di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Salah satu penyebab terjadinya kekeringan lahan adalah perubahan penggunaan lahan. Di Indonesia, tingkat perubahan penggunaan lahan terjadi sangat signifikan, hutan di Indonesia telah menyusut. Penyusutan hutan di Jawa sampai tahun 2001 seluas 90,5 %, Sumatera 59 %, Nusa Tenggara 74,5 %, Kalimantan 38,8 %, Sulawesi 49,6 %, dan rata-rata untuk Indonesia adalah 54,4 % (Chandrawidjaja, 2006). Semakin tinggi laju perubahan penggunaan lahan, maka keseimbangan iklim akan terganggu. Ketidakseimbangan iklim akan menyebabkan tidak seimbang fungsi hidrologis. Fungsi hidrologis yang terkait dalam siklus hidrologi mempunyai peranan penting dalam penyediaan dan kebutuhan air untuk pertanian. Oleh karena itu, apabila siklus tersebut terganggu maka penyediaan dan kebutuhan air untuk pertanian juga akan terganggu.

Faktor lain yang menyebabkan kekeringan adalah terjadinya perubahan iklim global. Syahbudin *et al*, 2004 (*dalam* syahbudin, 2004) melaporkan bahwa perubahan iklim global telah terjadi di Indonesia, hal ini berkaitan dengan terjadinya peningkatan jumlah curah hujan tahunan di wilayah timur Indonesia, berkisar antara 490 mm/tahun (Sulawesi Selatan) hingga 1.400 mm/tahun (Jawa Timur). Diikuti oleh peningkatan suhu siang dan malam hari antara 0,5-1,1 °C dan 0,6-2,3 °C. Sedangkan di wilayah barat Indonesia terjadi sebaliknya, dimana terdapat tendensi penurunan curah hujan tahunan sekitar 135-860 mm/tahun, dengan peningkatan suhu siang dan malam hari antara 0,2-0,7 °C. Sesuai dengan data-data di atas, tanda-tanda terjadinya perubahan iklim global tersebut juga terlihat dari makin cepatnya periode El-Nino menerpa Indonesia, yang semula terjadi untuk 5-6 tahun sekali, menjadi 2-3 tahun sekali. El Nino adalah penyimpangan cuaca di lautan Pasifik dimana kondisi lautan sedang memanas, sehingga mempengaruhi cuaca wilayah sekitarnya termasuk Indonesia

(Nurmayati, 2003). Fenomena El-Nino akan menyebabkan terjadinya kemarau panjang dan kondisi ini akan lebih parah jika suatu daerah secara alamiah mempunyai tingkat ketersediaan air yang kurang.

Apabila potensi kekeringan lahan di suatu tempat dapat diperkirakan sebelumnya, maka tindakan pencegahan dan antisipasinya dapat dilakukan dengan baik dan efisien. Sejauh ini informasi dan penelitian tentang kekeringan di Indonesia masih dirasakan kurang. Padahal, informasi tersebut sangat diperlukan dalam upaya pengelolaan sumberdaya alam khususnya sumberdaya lahan dan air.

Salah satu metode untuk menganalisis potensi kekeringan lahan adalah dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis (SIG). Pemantauan kondisi lahan dengan cara survey terestris/lapangan saja akan memerlukan waktu yang lama dan biaya yang tidak sedikit. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan pengamatan lapangan karena kondisi topografi dan wilayah yang luas sehingga lokasi sering tidak bisa dijangkau. Dengan teknologi penginderaan jauh hal tersebut bisa diatasi karena karakteristik citra penginderaan jauh menyajikan data-data lapangan yang utuh dan lengkap sehingga analisis dapat dilakukan pada daerah yang sulit dijangkau ataupun pada cakupan suatu wilayah yang luas. Penerapan teknologi tersebut diharapkan mampu meminimalisir biaya dan waktu yang diperlukan.

Berdasarkan hal tersebut diatas, maka penelitian ini dilakukan untuk mengestimasi distribusi potensi kekeringan lahan secara spasial dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Informasi dari faktor-faktor tersebut diekstraksi dari kanal-kanal citra Aster. Diharapkan informasi dari kanal-kanal citra Aster tersebut dapat dipakai sebagai metode untuk menduga faktor-faktor potensi kekeringan. Diagram alir latar belakang penelitian disajikan pada Gambar 1.

1.2. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

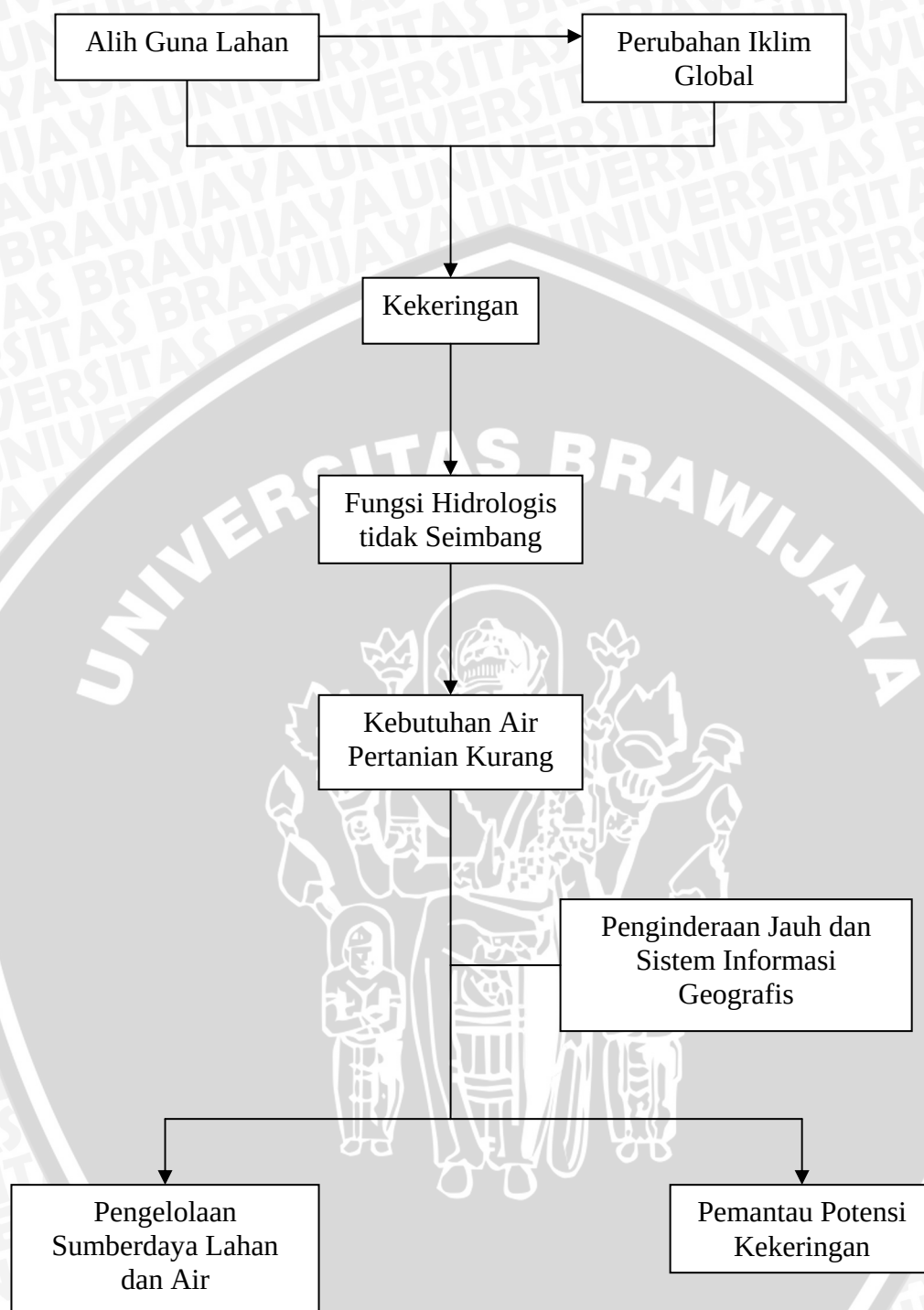
1. Memprediksi secara spasial distribusi potensi kekeringan lahan berdasarkan kajian evapotranspirasi dan kelengasan lahan, dan
2. Mengetahui sebaran dan luas potensi kekeringan lahan.

1.3. Hipotesis

Nilai *NDSI*, *NDVI* dan *NDWI* mempunyai korelasi yang positif terhadap tingkat kelengasan lahan.

1.4. Manfaat

1. Pemantau tingkat potensi kekeringan lahan secara dini.
2. Memberikan informasi tentang potensi kekeringan lahan di wilayah tersebut.
3. Sebagai pertimbangan dalam pengambilan keputusan dan rencana pemanfaatan serta pengelolaan sumberdaya lahan dan air yang tepat.



Gambar 1. Diagram Alir Latar Belakang Penelitian

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kekeringan Lahan

Thornthwaite (1947) dalam Tjasyono (2004) menyatakan kekeringan merupakan kondisi dimana kebutuhan jumlah air untuk evapotranspirasi melampaui jumlah air yang tersedia di dalam tanah. *International Glossary of Hydrology* (WMO, 1974) dalam Wiujianna (2005) menyatakan kekeringan merupakan keadaan tanpa hujan berkepanjangan atau masa kering di bawah normal yang cukup lama sehingga mengakibatkan keseimbangan hidrologi terganggu secara serius. Sedangkan Chandrawidjaja (2006) mengemukakan bahwa kekeringan terjadi sebagai akibat dari kurangnya curah hujan dalam jangka waktu yang lama namun dipengaruhi juga oleh faktor jenis tanah, keadaan topografi, dan penutupan vegetasi dalam kaitannya dengan kemampuan menyimpan lengas tanah.

Wilhite (1993) dan Glantz (1994) mengelompokkan kekeringan dalam empat aspek yaitu kekeringan meteorologi, pertanian, hidrologi, dan sosial ekonomi. Kekeringan yang disebabkan oleh tidak adanya hujan atau berhubungan dengan suatu periode kering yang menyimpang dari keadaan rata-rata (normal) disebut dengan kekeringan secara meteorologi. Keragaman iklim alami tersebut merupakan faktor utama terjadinya kekeringan. Dalam siklus hidrologi, kekurangan air ini menyebabkan beberapa tipe kekeringan. Apabila tingkat evaporasi tinggi maka tingkat kelengasan tanah akan berkurang yang disebabkan oleh kurangnya ketersediaan air tanah, atau disebut juga kekeringan secara lengas tanah. Kekeringan ditinjau dari aspek klimatologi pertanian terjadi apabila keseimbangan hubungan antara tanah, air dan tanaman terganggu sehingga menyebabkan persediaan air dalam tanah tidak mampu mencukupi kebutuhan air tanaman. Kekeringan secara hidrologi terjadi karena ketersediaan air dari bawah tanah dan aliran sungai berkurang (Tallaksen dan Van Lanen, 2004). Selanjutnya adalah kekeringan secara sosial ekonomi, kekeringan sosial ekonomi berkaitan dengan kondisi dimana pasokan komoditi ekonomi kurang dari kebutuhan normal akibat kekeringan meteorologi, pertanian, dan hidrologi.

Dalam kondisi alamiah, kelebihan air kurang bermasalah dibandingkan dengan kekeringan. Kelas kekeringan menurut Tjasyono (2004) ada tiga, yaitu:

1. kekeringan permanen yang dikaitkan dengan iklim kering,
2. kekeringan musiman yang terjadi pada iklim dengan periode masa kering tahunan yang berbeda, dan
3. kekeringan akibat keadaan curah hujan yang berubah-ubah.

Dalam setiap kasus, sebab pokok dari kekeringan adalah curah hujan, meskipun faktor peningkatan kebutuhan air cenderung meningkatkan penyebab kekeringan. Kelembaban nisbi rendah, angin kencang, dan suhu tinggi merupakan faktor pendukung kekeringan karena faktor ini meningkatkan evapotranspirasi. Tanah yang kehilangan air secara cepat oleh penguapan atau pembuangan air juga meningkatkan kekeringan.

2.2. Evapotranspirasi

Uap air yang hilang dari tanah melalui permukaan tanah dan permukaan daun disebut dengan evapotranspirasi (Soepardi, 1983). Evapotranspirasi merupakan gabungan dari dua istilah, yaitu evaporasi dan transpirasi. Evaporasi menurut Koorevaar *et al.* (1983) merupakan proses dimana hilangnya uap air dari permukaan tanah ke atmosfer. Sedangkan transpirasi adalah air yang diserap oleh akar tumbuhan untuk pembentukan jaringan tubuh tumbuhan dan sisanya dikembalikan ke udara. Jumlahnya dinyatakan dalam meter kubik per hektar atau milimeter air (Arsyad, 2000). Evapotranspirasi berpengaruh terhadap jumlah ketersediaan air. Jumlah ketersediaan air ini sangat ditentukan oleh proporsi curah hujan yang masuk ke dalam daerah aliran sungai, dan dipengaruhi oleh keadaan hutan, lokasi, dan praktek manajemen pertanian yang dapat merubah kondisi vegetasi (Brooks *et al.*, 2003).

2.3. Metode Neraca Energi

Metode neraca keseimbangan energi (disebut juga metode *energy budget*) didasarkan atas pendekatan bahwa untuk evaporasi dibutuhkan sejumlah energi tertentu sekitar $2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ pada suhu 20°C . Energi ini dikenal sebagai fluks energi laten penguapan. Radiasi yang diterima oleh tajuk tanaman diserap menjadi radiasi kembali (reradiasi), konveksi dan transpirasi. Seluruh energi pancaran yang diserap oleh vegetasi

pasti bisa dijelaskan, dan karenanya neraca energi untuk vegetasi akan seimbang (Rosenberg, 1974 dalam Firdaus; 2004).

$$LE = R_n - G - H \dots\dots\dots (1)$$

- LE = Fluks energi laten ($\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$)
- R_n = Radiasi netto permukaan ($\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$)
- G = Fluks pemanasan tanah ($\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$)
- H = Fluks pemanasan udara ($\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$)

2.4. Kelengasan Lahan

Menurut Notohadiprawiro (1998) dalam Rahmawati (2005) simpanan lengas tanah merupakan air yang terdapat dalam tanah yang terikat oleh berbagai gaya, gaya ikat matrik, osmotik, dan kapiler. Lengas tanah bisa berupa sebagai air gravitasi (*gravity water*) yang terdapat pada pori makro, sebagai air kapiler (*capillary water*) pada pori mikro sebagai lengas higroskopis yang melekat pada agregat tanah, dan sebagai uap air (Lindsey, 1986). Titik keseimbangan untuk lengas tanah yaitu kapasitas lapang dan titik layu.

Kapasitas lapang (*field Capacity*) didefinisikan sebagai kadar lengas tanah setelah selesainya drainase secara alamiah oleh gaya gravitasi. Titik layu (*wilting point*) adalah lengas yang terkandung pada suatu tegangan yang ekuivalen dengan tekanan osmotik pada akar-akar tanaman. Titik layu tersebut menunjukkan kadar lengas tanah saat tanaman tak mampu menghisap air dari tanah (Lindsey, 1986).

Kondisi kadar air yang menghalangi pertumbuhan tanaman, biasanya disebut titik layu permulaan yang merupakan standar kadar air minimum yang diperlukan tanaman. Harga pF kadar air pada kondisi layu permulaan adalah 3,0 sampai 3,6. Jika air dalam tanah itu direduksi kurang dari titik layu permulaan, maka tanaman akan mati, karena tidak mungkin mengabsorpsi air. Kadar air ini disebut titik layu permanen. Titik layu permanen ini adalah kira-kira tetap, tidak tergantung dari jenis tanaman dan sesuai dengan kapasitas menahan air dari pF = 4,0 sampai 4,3. Interval kadar air yang memungkinkan akan mengabsorpsi air adalah antara titik layu permanen sampai kapasitas lapang (harga pF = 2,0) dan disebut kadar air/kelembaban efektif. Tetapi interval yang menjamin pertumbuhan tanaman yang normal adalah dari titik permulaan

layu sampai kapasitas lapang. Kadar air dalam interval ini disebut juga kadar air efektif untuk pertumbuhan atau kadar air optimum yang berbeda dengan kadar air efektif tersebut di atas. Umumnya kadar air optimum adalah kira-kira 50 sampai 70% dari kadar air efektif (Sosrodarsono dan Takeda, 1985).

2.5. Metode Pengukuran Lengan Lahan

Secara umum metode yang sering dipakai dalam pengukuran lengan tanah adalah metode Gravimetri (Soepardi, 1983). Dengan cara ini kadar air ditetapkan secara langsung dengan mengukur penurunan bobot karena air hilang melalui pengeringan tanah. Metode ini melibatkan pengumpulan contoh tanah, menimbanginya sebelum dan setelah pengeringan dan menghitung kandungan air semula. Metode ini satu-satunya metode pengukuran langsung lengan tanah dan yang paling teliti. Namun, metode ini membutuhkan waktu dan memerlukan contoh yang diambil dari lokasi (contoh tanah terganggu). Pemindahan contoh tanah ini harus dilakukan secepat mungkin untuk mencegah kehilangan air. Pengukuran ini tidak dapat diulang pada titik yang sama dimana contoh semula diambil. Peralatan sederhana yang digunakan untuk mengambil contoh lengan tanah adalah bor tanah (Seyhan, 1977).

Pendugaan kelengasan lahan menggunakan penginderaan jauh adalah dengan menggunakan tiga indeks lahan dari data satelit. Ketiga indeks tersebut adalah indeks tanah (*NDSI = Normalized Difference Soil Index*), indeks vegetasi (*NDVI = Normalized Difference Vegetation Index*), dan indeks air (*NDWI = Normalized Difference Water Index*). Ketiga indeks tersebut kemudian dikorelasikan dengan data kelengasan lahan dan dianalisis secara statistika (Dirgahayu, 2006).

2.6. Citra Aster

Aster (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) adalah salah satu sensor citra yang dikembangkan oleh Jepang (Mather, 2004). Sensor Aster dikembangkan untuk observasi permukaan bumi dalam rangka monitoring lingkungan hidup secara global dan penginderaan sumberdaya alam oleh *Ministry of Economy, Trade and Industry* (Jepang) yang diluncurkan oleh wahana Amerika bernama Terra yang merupakan satelit observasi bumi pada tanggal 18 Desember 1999.

Ground resolution Aster lebih tinggi dibandingkan dengan Landsat-TM, demikian juga untuk *spectral resolution* yang tinggi dengan 5 *thermal-infrared band* dan 6 *short wave-infrared bands* (Tabel 1).

Tabel 1. Perbandingan Spektrum Citra ASTER dan Landsat TM

ASTER band/saluran	Spektrum (mikrometer)	Landsat TM bands	Spektrum (mikrometer)
		1	0,450 – 0,515
1 (VNIR)	0,520 – 0,600	2	0,525 – 0,605
2 (VNIR)	0,630 – 0,690	3	0,630 – 0,690
3 (VNIR)	0,760 – 0,860	4	0,750 – 0,90
4 (SWIR)	1,600 – 1,700	5	1,550 – 1,750
5 (SWIR)	2,145 – 2,185	7	2,090 – 2,350
6 (SWIR)	2,185 – 2,225		
7 (SWIR)	2,235 – 2,285		
8 (SWIR)	2,295 – 2,365		
9 (SWIR)	2,360 – 2,430		
10 (TIR)	8,125 – 8,475		
11 (TIR)	8,475 – 8,825		
12 (TIR)	8,925 – 9,275	6	10,400 – 12,500
13 (TIR)	10,25 – 10,95		
14 (TIR)	10,95 – 11,65		

Sumber: Anonymous, 2007.

Sensor citra Aster mempunyai kualitas fungsi *stereoscopic* yang lebih tinggi dibandingkan satelit sebelumnya, JERS-1. Sensor ini mengobservasi permukaan bumi dari ketinggian 705 km dengan frekuensi *band*: *Visible* dan *Near Infrared* - VNIR (tiga *band* + satu *band* arah belakang (*backward*) untuk data *stereoscopic* dengan resolusi *spatial* 15 m), *Short Wave Infrared* - SWIR (enam *band* dengan resolusi *spatial* 30 m) dan *Thermal Infrared* - TIR (lima *band* dengan resolusi *spatial* 90 m), total berjumlah 14 *band* atau *channel*.

VNIR merupakan *high performance* dan *high resolution optical instrument* yang digunakan untuk mendeteksi pantulan cahaya dari permukaan bumi dengan *range* dari level *visible* hingga *infrared* (520 - 860 mikrometer) dengan 3 *bands*. Dimana *band*

nomor 3 dari VNIR ini merupakan nadir dan *backward looking data*, sehingga kombinasi data ini dapat digunakan untuk mendapatkan citra *stereoscopic*. *Digital Elevation Model (DEM)* dapat diperoleh dengan mengaplikasikan data ini, sehingga data ini tidak hanya untuk peta topografik saja, tetapi bisa juga digunakan sebagai citra stereo.

Tabel 2. Spesifikasi Satelit ASTER

Orbit	Sun-synchronous orbit			
Local time at descending node	10:30 AM			
Ketinggian	700 - 737 km (707 km di katulistiwa)			
Orbit inclination	98,2 derajat			
Recurrence cycle	16 hari			
Lebar swath	60 km			
Jarak antar path di katulistiwa	172 km			
Cycle	98,88 menit			
Perioda misi	6 tahun			
Band	Tipe	Jumlah	spektrum	ground resolution
	VNIR	3 bands	0,52 – 0,86 um	15 m
	SWIR	6 bands	1,60 – 2,43 um	30m
	TIR	5 bands	8,125 – 11,65 um	90m

Sumber: Anonymous, 2007.

SWIR merupakan *high resolution optical instrument* dengan 6 bands yang digunakan untuk mendeteksi pantulan cahaya dari permukaan bumi dengan *short wavelength infrared range* (1,6 – 2,43 mikrometer). Penggunaan radiometer ini memungkinkan menerapkan Aster untuk identifikasi jenis batu dan mineral, serta untuk monitoring bencana alam seperti monitoring gunung berapi yang masih aktif. TIR adalah *high accuracy instrument* untuk observasi *thermal infrared radiation* (800 - 1200 mikrometer) dari permukaan bumi dengan menggunakan 5 bands. Band ini dapat digunakan untuk monitoring jenis tanah dan batuan di permukaan bumi. *Multi-band*

thermal infrared sensor dalam satelit ini adalah pertama kali di dunia. Ukuran citra adalah 60 km dengan *ground resolution* 90 m seperti yang disajikan pada Tabel 2.

Sensor Aster beroperasi atas kerjasama NASA dan ERSDAC. Sejak diluncurkan sensor ini telah mengobservasi permukaan bumi dengan skala global sebanyak 500 ribu citra (60 km x 60 km per citra).

2.7. Penginderaan Jauh Satelit Untuk Estimasi Kekeringan

Pada saat ini, penginderaan jauh satelit telah mulai digunakan untuk mengukur tingkat kekeringan berdasarkan faktor-faktornya seperti curah hujan, temperatur, kelengasan tanah, dan kondisi vegetasi. Observasi bumi dengan satelit sangat bermanfaat sekali terhadap data-data yang diperlukan untuk pemantauan tingkat kekeringan, hal ini disebabkan oleh banyaknya kendala memperoleh data secara langsung di lapangan. Data penginderaan jauh dapat menyediakan informasi spasial dalam suatu cakupan wilayah yang luas sehingga mempunyai dampak positif terhadap waktu dan biaya yang dibutuhkan (Jeyaseelan, 2007).

Aplikasi penginderaan jauh telah dilakukan Sun *et al.* (2004) untuk identifikasi suhu udara berdasarkan termodinamika di wilayah dataran Cina dengan menggunakan citra infra merah sistem termal Modis. Suhu udara diturunkan dari rumus radiasi netto, evapotranspirasi, hilangnya panas ke udara karena konveksi dan konduksi, serta fraksi vegetasi dan indeks stress tanaman terhadap air untuk menduga hubungan antara suhu permukaan lahan dan suhu udara. Suhu permukaan lahan dihitung dari citra Modis berdasarkan algoritma suhu permukaan lahan pada siang dan malam hari. Pengukuran di validasi dengan data meteorologi pada 33 stasiun cuaca pada wilayah studi tersebut. Hasil yang diperoleh mempunyai tingkat akurasi lebih dari 80%.

Firdaus (2004) menggunakan citra termal Landsat dalam menaksir evapotranspirasi. Pendekatannya adalah dengan cara mengekstraksi informasi temperatur permukaan atau disebut juga suhu kinetik objek. Model yang disusun untuk mengeksploitasi datanya adalah model neraca energi berdasarkan suhu kinetik dari permukaan yang dapat diterjemahkan dari radian temperatur objek.

Dirgahayu (2006) menggunakan penginderaan jauh untuk pendugaan kelengasan lahan di Pulau Jawa dengan menggunakan tiga indeks lahan dari data satelit Terra/Aqua

Modis. Ketiga indeks tersebut adalah indeks tanah (*NDSI = Normalized Difference Soil Index*), indeks vegetasi (*NDVI = Normalized Difference Vegetation Index*), dan indeks air (*NDWI = Normalized Difference Water Index*). Pengolahan data dilakukan dengan cara mengekstraksi informasi reflektansi terkoreksi dan ekstraksi informasi kondisi lahan kemudian dilakukan analisis statistika regresi nonlinier. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa hubungan indeks lahan Modis dengan kelengasan tanah memiliki respon positif terhadap kenaikan lengas lahan.



III. METODE PENELITIAN

3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan di DAS Ngasinan, Trenggalek, Jawa Timur. Analisis kadar lengas tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, sedangkan analisis spasial dan pemetaan dilaksanakan di Laboratorium Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Jurusan Tanah Universitas Brawijaya dan Kelti Inderaja & Pemetaan Sumberdaya Lahan-Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor. Penelitian ini dilaksanakan mulai bulan Mei 2007 - Oktober 2008.

3.2. Alat dan Bahan

3.2.1. Alat

Alat yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri atas perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras antara lain adalah: Notebook Toshiba M100 (Intel Centrino Core 2 Duo Processor T5500 1,6 Ghz 1,5 Gb Ram), *Printer* HP Deskjet D2466, *Scanner* Canon A3, GPS Garmin E-trex Vista C, Bor Tanah, dan Kompas. Perangkat lunak antara lain adalah: PCI Geomatica 9.0, ER Mapper 7.0, ArcInfo 3.3, ArcView 3.2, ArcGIS 9.0, Map Source 8.0, Erdas Imagine 9.1, dan SPSS 12.

3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Citra Aster L1B liputan tanggal 9 Februari 2004 pukul 15.00 WIB, Peta RBI Bakosurtanal Skala 1 : 25.000 Tahun 1999, Peta Geologi lembar Tulungagung dan Madiun skala 1 : 100.000 Tahun 1992, Foto Udara Bakosurtanal Skala 1 : 50.000 Tahun 1981, data Iklim (Curah Hujan), dan data lengas lahan dari lapangan.

3.3. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut. Diagram alir metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

1. *Preprocessing* Citra Digital Aster

Sebelum Citra Aster dapat digunakan dan dapat dianalisis lebih lanjut maka diperlukan beberapa proses pengolahan citra, diantaranya yaitu koreksi *crosstalk*, impor citra ke format Er Mapper, rotasi citra, koreksi geometrik citra, dan koreksi radiometrik citra.

Koreksi *Crosstalk*

Crosstalk adalah suatu kebocoran sinyal terutama pada *band SWIR* 5 dan 9 oleh *Band* 4. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya dinding antar detektor saluran atau struktur lain yang dapat menghalangi pancaran sinar dari *band* 4 terhadap *band* lain, sehingga dapat mempengaruhi keakuratan detektor sinar *band* lainnya. Koreksi ini dilakukan dengan bantuan *Software* ERSDAC *Crosstalk* 3 yang didapat dari “http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/service_e/u.tools_e/set_u.tool_ecross.html” koreksi dilakukan dengan cara memasukkan data mentah citra Aster yang berformat *.hdf* atau format *.dat* ke dalam *software* tersebut kemudian ditentukan *input* dan *output file* datanya.

Impor Citra ke Format Ermapper

Data mentah citra Aster berisi 14 *band* yang dibagi ke dalam 3 dataset yang berbeda, baik spasial maupun spektral. Ketiga dataset tersebut adalah *VNIR* (*Visible and Near Infrared*, *band* 1-3), *SWIR* (*Short-Wave Infrared*, *band* 4-9) dan *TIR* (*Thermal Infrared*, *band* 10-14), dengan masing-masing resolusi spasial 15, 30 dan 90 m. Oleh karena itu, masing-masing dataset harus diproses secara independen. Impor data dapat dilakukan dengan cara manual atau secara otomatis. Cara manual dilakukan dengan cara memasukkan data format *Hdf* yang sudah dikoreksi *Crosstalk* kedalam Er Mapper, misal untuk dataset *VNIR*, data tersebut diduplikat dua kali sehingga menjadi tiga data yang kemudian diisi oleh *band* 1, *band* 2 dan *band* 3N, data keluarannya adalah *Multi Layer*, dengan tipe data *Unsigned8BitInteger* dan *Delete Output Transforms*. Untuk dataset *SWIR* dan *TIR* prosesnya juga sama dengan dataset *VNIR*, perbedaannya adalah pada data *SWIR* proses duplikasinya 5 kali dan pada dataset *TIR* 4 kali. Cara kedua adalah secara otomatis, yaitu menggunakan fasilitas *HDF Import Wizard* pada Er Mapper. Cara

ini termasuk mudah, karena hanya memasukkan data kemudian tinggal diisi parameter-parameter yang diperlukan. Kelemahan dari cara otomatis ini adalah tidak dapat mengatur *output* tipe datanya (misal, 8-byte, 4-byte, dll). Dalam penelitian ini digunakan cara manual.

Rotasi Citra

Pada proses ini citra yang masih berorientasi satelit dirotasi ke dalam citra yang berorientasi peta (terproyeksi). Rotasi citra ini dilakukan dengan Software Er Mapper menggunakan fasilitas *Geocoding and Orthorectification Wizard*. Hal yang perlu diketahui dalam proses rotasi citra adalah sudut rotasi pada citra yang asli, hal ini bisa diketahui pada *Raster Dataset Information*. Setelah diketahui sudut rotasi asli, maka sudut tersebut dikalikan dengan (-1), hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa citra tersebut terotasi pada posisi yang benar. Hasil perkalian antara sudut rotasi asli dengan (-1) adalah input ke dalam *Geocoding Wizard* tersebut.

Koreksi Geometrik Citra

Berupa koreksi geometrik citra yang bertujuan untuk memperbaiki kesalahan geometrik agar berada pada koordinat dan posisi yang benar. Sebenarnya citra Aster level 1B telah terkoreksi secara radiometrik maupun geometrik dengan sangat baik, dan referensi proyeksinya telah terlampir pada citra tersebut, artinya dengan melakukan proses rotasi, citra tersebut telah mempunyai georeferensi. Prosedur dalam koreksi geometrik ini menggunakan analisis titik kontrol tanah (*Ground Control Point/GCP*). *GCP* didapatkan dari peta rupabumi atau dari citra lain yang sesuai dengan daerah liputan citra dan titik-titik kontrol tanah yang mudah dikenali pada citra tersebut. Kenampakan yang baik sebagai titik ikat adalah perpotongan jalan raya, batas garis pantai, sungai, dan kenampakan lainnya yang mudah dilihat. Pada koreksi ini sejumlah titik ikat diletakkan pada citra dan peta atau citra acuan secara tersebar dan merata, hal ini dilakukan agar koreksi geometrik tersebut mempunyai kualitas yang baik. Setelah itu dilakukan metode resampling *nearest neighborhood*, yaitu metode transfer atau pengalihan dengan menggunakan nilai digital *pixel* yang terdekat. Keunggulan metode ini ialah

karena perhitungan sederhana dan menghindari perubahan nilai *pixel* (Lillesand dan Kiefer, 2000).

Koreksi Radiometrik Citra

Berupa koreksi yang bertujuan untuk meminimalisasi kesalahan yang disebabkan pengaruh detektor satelit atau pengaruh gangguan atmosfer (Jensen, 1996). Atmosfer sebagai media penghantar gelombang elektromagnetik dari matahari mempunyai pengaruh cukup besar terhadap citra satelit, yaitu berupa hamburan. Akibat adanya efek atmosfer tersebut, nilai kecerahan pada citra digital tidak menggambarkan keadaan obyek sebenarnya. Oleh sebab itu, untuk analisis lebih lanjut, efek hamburan tersebut harus dihilangkan atau dikurangi terlebih dahulu, proses ini disebut koreksi radiometrik. Proses koreksi radiometrik pada citra Aster disebut juga dengan kalibrasi spektral radian. Setiap dataset Hdf Aster mempunyai faktor skala koefisien tersendiri dalam mengkonversi nilai *DN (digital number)* ke dalam spektral radian, nilai tersebut adalah *UCC (Unit Conversion Coefficient)*. Nilai *UCC* pada setiap citra berbeda-beda, nilai ini bisa dilihat pada metadata citra tersebut. Metadata citra Aster dapat dilihat dengan menggunakan *software* Aster Data Opener, yaitu sebuah *utility* untuk melihat metadata citra Aster. *Software* tersebut bisa didapat pada situs "http://www.gds.aster.ersdac.or.jp/gds_www2002/service_e/u.tools_e/set_u.tool_ecross.html". Kalibrasi radian ini menggunakan persamaan:

$$\text{Spektral Radian}(L_{\lambda}) = (DN-1) \times UCC \dots\dots\dots (2)$$

Dimana *DN* adalah *digital number* masing-masing *band* secara independen (Abrams dan Hook, 2001).

2. Penajaman Citra

Penajaman citra dilakukan agar kenampakan citra yang akan dianalisis lebih terlihat jelas dan memudahkan dalam proses interpretasi. Penajaman citra dilakukan dengan mengubah-ubah nilai kecerahan piksel citra. Teknik penajaman citra dilakukan dengan memanfaatkan fasilitas transformasi otomatis pada perangkat lunak penginderaan jauh seperti *histogram equalize*, *gaussian equalize*, *level-slice transform*, *autoclip transform*, *default logarithmic transform*, *default*

exponential transform, autoclip transform 99%, linear, root, adaptive, equalization, dan infrequency.

3. Klasifikasi Citra

Menggunakan analisis citra Aster dengan teknik *Unsupervised Classification*. *Unsupervised Classification* adalah suatu proses operasi numerik yang digunakan komputer untuk mengelaskan nilai spektral dari *pixel-pixel* yang sama dan bertujuan untuk mengelaskan suatu penggunaan lahan (Jensen, 1996).

4. Preprocessing data Foto Udara

Terdiri dari penyiapan foto udara, digitalisasi foto udara dengan proses *scanning* kemudian dilakukan proses *orthofoto* sampai mosaik. Selanjutnya data foto udara digunakan untuk interpretasi *Landform*.

5. Interpretasi Landform

Interpretasi *landform* dengan menggunakan stereoskop cermin. Identifikasi *landform* berdasarkan analisis lereng, bahan induk, relief dan kenampakan 3 dimensi, kemudian diklasifikasikan berdasarkan pedoman klasifikasi *landform*.

6. Pengukuran Evapotranspirasi

Pengukuran dilakukan dengan cara estimasi Radiasi Netto (R_n), Fluks Pemanasan Tanah (G), Fluks Pemanasan Udara (H) dan Fluks Energi Laten (LE) pada citra Aster. Metode ini dinamakan dengan metode neraca keseimbangan energi permukaan lahan.

Radiasi Netto (R_n)

Radiasi netto (R_n) adalah perbedaan antara radiasi yang masuk dan keluar dari panjang gelombang pendek dan panjang gelombang jauh (Allen *et al.*, 1998). Untuk menghitung radiasi netto menggunakan persamaan berikut (Guzman, 2007):

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot R_{swd} + \varepsilon \cdot R_{twd} - \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_o^4 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana,

α = albedo (Persamaan 4)

R_{swd} = radiasi matahari ke bumi ($\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$) (Persamaan 11)

ε = emisivitas permukaan (Persamaan 18)

R_{twd} = radiasi gelombang panjang ke bumi ($\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$) (Persamaan 21)

σ = konstanta Stefan-Boltzmann ($4,90 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ hari}^{-1}$)

T_o = temperatur permukaan lahan ($^{\circ} \text{K}$) (Persamaan 25)

α , ε , dan T_o dapat diekstrak dari data penginderaan jauh menggunakan saluran pada karakteristik spektral gelombang terlihat (*visible*) sampai panas (*thermal*).

Albedo (α)

Sebagian jumlah radiasi matahari yang sampai ke permukaan bumi dipantulkan. Fraksi radiasi matahari yang dipantulkan oleh permukaan bumi disebut albedo (Allen *et al.*, 1998). Perhitungan albedo pada citra Aster terdiri dari 2 tahap. Tahap pertama adalah merubah spektral radian citra Aster ke reflektan, tahap kedua adalah menghitung nilai albedo dengan input reflektan tersebut. Adapun persamaan yang dipakai adalah (Liang, 2002) :

$$\alpha^{Aster} = 0,484\alpha_1 + 0,335\alpha_2 - 0,324\alpha_3 + 0,551\alpha_6 + 0,305\alpha_8 - 0,367\alpha_9 - 0,0015 \quad (4)$$

Dimana,

α^{Aster} = albedo citra aster

α_i = reflektan dengan i adalah *band* 1-9

Perhitungan Reflektan (α)

Reflektan adalah rasio panjang gelombang antara energi yang dipantulkan dan energi yang datang ke permukaan bumi. Persamaannya adalah (Abrams dan Hook, 2001):

$$\alpha = \frac{L_{\lambda} \cdot \pi \cdot d_r^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_z} \quad (5)$$

Dimana,

α = reflektan

L_{λ} = spektral radian ($\text{Wm}^{-2} \text{ sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)

d_r = invers jarak relatif bumi – matahari

θ_z = sudut zenith matahari (derajat)

$ESUN_\lambda$ = pemancaran radiasi eksoatmosferik ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)

Tabel 3. $ESUN_\lambda$ Citra Aster

Band Aster	$ESUN_\lambda$ ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$)
B1	1.845,99
B2	1.555,74
B3N	1.119,47
B4	231,25
B5	79,81
B6	74,99
B7	68,66
B8	59,74
B9	56,92

Sumber: Anonymous, 2008.

Perhitungan θ_z

Sudut zenith matahari ditentukan oleh persamaan:

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos \omega \dots\dots\dots (6)$$

Dimana,

ϕ = lintang

δ = sudut deklinasi matahari

ω = sudut waktu

Perhitungan ω

Sudut waktu dihitung berdasarkan waktu matahari lokal (LAT), dengan persamaan:

$$\omega = 15(LAT - 12)(\pi / 180) \dots\dots\dots (7)$$

Perhitungan LAT

LAT dihitung dengan persamaan:

$$LAT = UTC + 4 \cdot L_c / 60 + E_t / 60 \dots\dots\dots (8)$$

Dimana,

UTC = waktu/jam pengambilan citra

L_c = meredian wilayah

E_t = posisi matahari pada musim berbeda

Perhitungan E_t

E_t dihitung dengan persamaan:

$$E_t = 0,000075 + 0,001868\cos(\Gamma) - 0,032077\sin(\Gamma) - 0,014615\cos(2 \Gamma) - 0,04089\sin(2 \Gamma) * 229,18 \dots\dots\dots (9)$$

Dimana,

Γ = sudut hari

Perhitungan Γ

Sudut hari dihitung dengan persamaan:

$$\Gamma = 2\pi(J - 1)/365 \dots\dots\dots (10)$$

Dimana,

J = jumlah hari didalam tahun antara 1 (1 Januari) sampai 365 atau 366 (31 Desember)

Radiasi Matahari(R_{swd})

Proses evapotranspirasi ditentukan oleh jumlah energi tersedia untuk menguapkan air. Radiasi matahari adalah sumber energi yang paling besar dalam mengubah air untuk menguap. Jumlah potensial radiasi di setiap wilayah berbeda-beda, ditentukan oleh lokasi dan waktu berdasarkan tahun. Dikarenakan perbedaan posisi matahari, maka radiasi potensial pada setiap lintang dan musim akan berbeda juga. Radiasi matahari dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Angstrom (Allen *et al.*, 1998), yaitu:

$$R_{swd} = \left(as + bs \cdot \frac{n}{N} \right) Ra \dots\dots\dots (11)$$

R_{swd} = radiasi matahari ($MJ m^{-2} hari^{-1}$)

as = fraksi radiasi (0,25)

bs = fraksi radiasi (0,5)

n = lama matahari bersinar dalam satu hari (jam)

N = maksimum lama matahari bersinar dalam satu hari (jam)

Ra = ekstraterrestrial radiasi ($\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$)

Perhitungan N

N dihitung dengan persamaan:

$$N = \frac{24}{\pi} \omega_s \dots\dots\dots (12)$$

Dimana,

ω_s = sudut terbenam matahari (radian)

Perhitungan ω_s

Sudut matahari terbenam dihitung dengan persamaan:

$$\omega_s = ar \cos[-\tan(\varphi)\tan(\delta)] \dots\dots\dots (13)$$

Dimana,

φ = lintang (radian)

δ = deklinasi matahari (radian)

Perhitungan φ

Satuan lintang masih dalam bentuk desimal, untuk merubahnya ke dalam satuan radian digunakan persamaan:

$$Radian = \frac{\pi}{180} [lintang] \dots\dots\dots (14)$$

Perhitungan δ

Deklinasi matahari dihitung dengan persamaan:

$$\delta = 0,4102 \sin\left(\frac{2\pi}{365}(J - 80)\right) \dots\dots\dots (15)$$

Dimana,

J = jumlah hari didalam tahun antara 1 (1 Januari) sampai 365 atau 366 (31 Desember)

Perhitungan R_a

Ekstraterrestrial radiasi dihitung dengan menggunakan persamaan (Allen *et al.*, 1998):

$$R_a = \frac{24(60)}{\pi} \cdot G_{sc} \cdot d_r \cdot [\omega_s \cdot \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \sin(\omega_s)] \dots \dots \dots (16)$$

Dimana,

G_{sc} = konstanta matahari ($0,0820 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$)

d_r = invers jarak relatif bumi – matahari

Perhitungan d_r

Invers jarak relatif bumi-matahari dihitung dengan persamaan:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \dots \dots \dots (17)$$

Dimana,

J = jumlah hari didalam tahun antara 1 (1 Januari) sampai 365 atau 366 (31 Desember)

Perhitungan emisivitas permukaan (ε)

Emisivitas permukaan dihitung dengan menggunakan persamaan (Vallor dan Caselles, 1996) :

$$\varepsilon = \varepsilon_v \cdot P_v + \varepsilon_s \cdot (1 - P_v) \dots \dots \dots (18)$$

Dimana,

ε_v = emisivitas permukaan dengan vegetasi penuh (0,99)

P_v = fraksi tutupan vegetasi

ε_s = emisivitas tanah (0,96)

Perhitungan P_v

Fraksi vegetasi dihitung dengan menggunakan persamaan (Carlson dan Ripley, 1997):

$$P_v = \left[\frac{NDVI - NDVI_{\min}}{NDVI_{\max} - NDVI_{\min}} \right]^2 \dots\dots\dots (19)$$

Dimana,

$NDVI$ = indeks kehijauan vegetasi (-1 sampai 1)

$NDVI_{\max}$, $NDVI_{\min}$ = nilai maksimum dan minimum $NDVI$

Perhitungan $NDVI$

Indikator aktivitas fotosintesis pada permukaan bumi dapat dilihat dengan $NDVI$ (*Normalized Difference Vegetation Index*). Hal ini disebabkan oleh kuatnya karakteristik spektral penyerapan terhadap klorofil pada saluran terlihat (0,475 sampai 0,65 μm) dan tingginya pantulan dari vegetasi pada saluran inframerah dekat. $NDVI$ berkisar antara -1 dan +1. Semakin tinggi nilai indeks, menunjukkan tingginya tingkat kehijauan vegetasi. $NDVI$ dihitung dengan persamaan (Weligepolage, 2005):

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \dots\dots\dots (20)$$

Dimana,

ρ_{nir} = reflektan permukaan pada saluran inframerah dekat.

ρ_{red} = reflektan permukaan pada saluran merah.

Pada citra Aster ρ_{nir} adalah band 3, dan ρ_{red} adalah band 2.

Perhitungan R_{twd}

$$R_{twd} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \dots\dots\dots (21)$$

Dimana,

ε_a = emisivitas atmosfer

σ = konstanta Stefan-Boltzmann ($4,90 \cdot 10^{-9} \text{ MJ m}^{-2} \text{ K}^{-4} \text{ hari}^{-1}$)

T_a = temperatur udara ($^{\circ}C$)

Perhitungan ε_a

Emisivitas atmosfer dihitung dengan persamaan Swinbank (Campbell dan Norman, 1998):

$$\varepsilon_a = 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot (T_a + 273,15)^2 \dots\dots\dots (22)$$

Dimana,

T_a = temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$)

Perhitungan T_a

Temperatur udara dihitung dengan menggunakan persamaan (Braak, 1928 dalam Ritung *et al.*; 2007):

$$T_a = 26,3 - (0,01 \cdot DEM \cdot 0,6) \dots\dots\dots (23)$$

Dimana,

DEM = digital elevation model

Perhitungan T_o

Temperatur permukaan lahan dihitung dengan menggunakan band 13 (10,25-10,95 μm) pada citra Aster *TIR*. Ada dua tahap dalam penghitungan temperatur permukaan lahan, pertama adalah merubah spektral radian band 13 ke dalam temperatur kecerahan (temperatur benda hitam), yang kedua adalah melakukan koreksi terhadap temperatur benda hitam tersebut dengan emisivitas permukaan lahan (ε). Adapun persamaan yang digunakan untuk merubah spektral radian ke temperatur benda hitam adalah (Dengsheng dan Weng, 2005):

$$T_c = \frac{C_2}{\lambda_c \cdot \ln\left(\frac{C_1}{\lambda_c^5 \cdot \pi \cdot L_\lambda} + 1\right)} \dots\dots\dots (24)$$

Dimana,

T_c = temperatur kecerahan (K)

L_λ = spektral radian ($\text{W m}^{-3} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)

λ_c = panjang gelombang tengah band 13 (0,00000175 m)

C_1 = konstanta radiasi pertama ($3,74151 \cdot 10^{-16} \text{W m}^{-3} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)

C_2 = konstanta radiasi kedua (0,0143879 m K)

Untuk merubah temperatur benda hitam ke temperatur permukaan (T_o), maka digunakan persamaan:

$$T_o = \frac{T_c}{1 + (\lambda \cdot T_c / \rho) \ln \varepsilon} \dots\dots\dots (25)$$

Dimana,

T_o = temperatur permukaan lahan (K)

λ = panjang gelombang (10,6 μ m)

$\rho = h \cdot c / \sigma = 1,438 \cdot 10^{-2}$ m K

h = konstanta Planck ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J K⁻¹)

c = kecepatan cahaya ($2,998 \cdot 10^8$ m s⁻¹)

σ = konstanta Stefan-Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J K⁻¹)

ε = emisivitas permukaan lahan

Fluks Pemanasan Tanah (G)

Fluks pemanasan tanah adalah energi yang digunakan untuk memanaskan tanah (Allen *et al.*, 1998). Persamaan yang digunakan untuk menghitung G adalah (Bastiaanse *et al.*, 1998):

$$G = R_n \cdot \left(\frac{T_o - 273,15}{100 \cdot \alpha} \right) \cdot (0,32 \cdot \alpha + 0,62 \cdot \alpha^2) \cdot (1 - 0,98 \cdot NDVI^4) \dots\dots\dots (26)$$

Dimana,

G = fluks pemanasan tanah (MJ m⁻² hari⁻¹)

R_n = radiasi netto (MJ m⁻² hari⁻¹) (Persamaan 3)

T_o = temperatur permukaan lahan (K) (Persamaan 25)

α = albedo citra Aster (Persamaan 4)

$NDVI$ = indeks kehijauan vegetasi (-1 sampai 1) (Persamaan 20)

Fluks Pemanasan Udara (H)

Fluks pemanasan udara (H) adalah aliran energi melalui udara sebagai temperatur gradien. Persamaan dari fluks pemanasan udara adalah (Weligepolage, 2005):

$$H = \rho_a \cdot C_p \cdot \frac{T_o - T_a}{r_a} \dots\dots\dots (27)$$

Dimana,

H = fluks pemanasan udara (Wm^{-2})

ρ_a = kerapatan jenis udara (Kg m^{-3}) (Persamaan 28)

C_p = panas udara spesifik pada saat tekanan konstan ($1.013 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T_o = temperatur permukaan lahan (K) (Persamaan 25)

T_a = temperatur udara (K) (Persamaan 23)

r_a = ketahanan aerodinamik (s m^{-1}) (Persamaan 30)

Pada penelitian ini satuan yang digunakan adalah $\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$. Pada fluks pemanasan udara satuannya adalah Wm^{-2} . Oleh karena itu satuan dari fluks pemanasan udara harus dirubah ke dalam satuan $\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$ ($1 \text{ Wm}^{-2} = 0,0864 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$).

Perhitungan ρ_a

Kerapatan jenis udara dihitung dengan persamaan:

$$\rho_a = \frac{1.000P}{T_{Kv}R} = 3,486 \frac{P}{T_{Kv}} \dots\dots\dots (28)$$

Dimana,

ρ_a = kerapatan jenis udara (Kg m^{-3})

P = tekanan atmosfer (kPa)

R = konstanta gas spesifik ($287 \text{ J Kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$)

T_{Kv} = temperatur virtual (K) $\approx 1,01(T_a + 273)$

T_a = temperatur udara ($^{\circ}\text{C}$)

Perhitungan P

Tekanan atmosfer dihitung dengan persamaan:

$$P = 101,3 \left(\frac{293 - 0,0065 \cdot z}{293} \right)^{5,26} \dots\dots\dots (29)$$

Dimana,

Z = ketinggian dari data *DEM*

Perhitungan r_a

Transfer panas dan uap air dari permukaan yang terevaporasi ke udara di atas kanopi vegetasi ditentukan oleh ketahanan aerodinamik, dengan persamaan:

$$r_a = \frac{\ln \left[\frac{z_m - d}{z_{om}} \right] \ln \left[\frac{z_h - d}{z_{oh}} \right]}{k^2 u_z} \quad (30)$$

Dimana,

r_a = ketahanan aerodinamik (s m^{-1})

z_m = ketinggian alat pengukur angin (m)

z_h = ketinggian alat pengukur alat kelembaban (m)

d = jarak tinggi vegetasi (m)

z_{om} = panjang kekasaran yang mengatur pindahan momentum (m)

z_{oh} = panjang kekasaran yang mengatur pindahan panas dan uap (m)

k = konstanta von Karman (0,41)

u_z = kecepatan angin pada ketinggian z (m s^{-1})

Pada penelitian ini kecepatan angin tidak diukur, maka diambil kecepatan angin normal, yaitu 2 m s^{-1} pada ketinggian 1-2 m.

Perhitungan d

Jarak tinggi vegetasi dihitung dengan persamaan:

$$d = \frac{2}{3} h \quad (31)$$

Dimana,

h = ketinggian vegetasi (m)

Perhitungan h

Ketinggian vegetasi dihitung dengan persamaan:

$$h = \frac{z_{om}}{0,136} \quad (32)$$

Dimana,

z_{om} = panjang kekasaran yang mengatur pindahan momentum (m)

Perhitungan z_{om}

$$z_{om} = \exp(-7,13 + 9,33 \cdot NDVI) \dots \dots \dots (33)$$

Dimana,

$NDVI$ = indeks kehijauan vegetasi (-1 sampai 1)

Perhitungan z_{oh}

$$z_{oh} = 0,1 \cdot z_{om} \dots \dots \dots (34)$$

Dimana,

z_{oh} = panjang kekasaran yang mengatur pindahan panas dan uap (m)

z_{om} = panjang kekasaran yang mengatur pindahan momentum (m)

7. Fluks Energi Laten (LE)

Fluks energi laten (LE) dihitung setelah semua komponen neraca keseimbangan energi permukaan lahan terpenuhi. Persamaan untuk menghitung fluks energi laten adalah (Weligepolage, 2005):

$$LE = R_n - G - H \dots \dots \dots (35)$$

Dimana,

R_n = radiasi netto (Persamaan 3)

G = fluks pemanasan tanah (Persamaan 26)

H = fluks pemanasan udara (Persamaan 27)

Semua komponen pada persamaan diatas dihitung berdasarkan satuan $\text{MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1}$

¹. Faktor konversi yang dipakai untuk mengubah fluks energi laten (LE) menjadi banyaknya uap air yaitu $1 \text{ MJ m}^{-2} \text{ hari}^{-1} = 0,408 \text{ mm hari}^{-1}$.

8. Identifikasi Kekeringan dengan EF (Evaporative Fraction)

Identifikasi kekeringan pada penelitian ini menggunakan metode fraksi evaporasi.

Fraksi evaporasi adalah perbandingan antara fluks energi laten, radiasi netto, dan

fluks pemanasan tanah. Nilai EF semakin rendah maka potensi kekeringan pada daerah yang diteliti akan semakin tinggi. Persamaannya adalah sebagai berikut (Niemeyer dan Vogt, 1999):

$$EF = \frac{LE}{R_n - G} \dots\dots\dots (36)$$

Dimana,

LE = fluks energi laten (Persamaan 35)

R_n = radiasi netto (Persamaan 3)

G = fluks pemanasan tanah (Persamaan 26)

9. Survey lapang

Dilakukan untuk verifikasi data penggunaan lahan, *landform* serta pengambilan sampel kadar lengas tanah. Survey lapang dilakukan dengan bantuan GPS (*Global Positioning System*), bor tanah, kompas, dan peta dasar sebagai acuan. GPS digunakan untuk menentukan koordinat posisi dari setiap titik pengamatan baik penggunaan lahan, *landform* dan sampel lengas tanah. Sampel lengas tanah diambil pada kedalaman tanah 0-20 cm dengan menggunakan bor tanah. Kompas digunakan untuk menentukan acuan arah pada saat survey dilakukan.

10. Analisis kadar lengas tanah

Analisis kadar lengas tanah dilakukan di Laboratorium Fisika, Jurusan Tanah, Universitas Brawijaya menggunakan metode Gravimetri. Metode Gravimetri bertujuan untuk mengetahui nilai kadar air tanah, yaitu perbandingan antara berat air dalam tanah terhadap berat kering tanah tersebut dan dinyatakan dalam persen. Peralatan yang digunakan adalah cawan kedap udara dan tidak berkarat, timbangan analitik, dan oven. Prosedur yang dilakukan adalah penyiapan cawan kosong, penyiapan benda uji, penimbangan, penempatan cawan dalam oven selama 24 jam dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$ atau sampai berat tetap, pendinginan dalam desikator, kemudian penimbangan kembali. Persamaan yang digunakan untuk menghitung kadar air adalah:

$$KA = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \dots\dots\dots (40)$$

Dimana,

W_1 = berat cawan (g) + tanah basah (g)

W_2 = berat cawan (g) + tanah kering (g)

W_3 = berat cawan kosong (g)

11. Pengukuran Kadar Lengas pada Citra ASTER

Pengukuran dilakukan dengan cara analisis beberapa indeks, yaitu indeks tanah ($NDSI$ = *Normalized Difference Soil Index*), indeks vegetasi ($NDVI$ = *Normalized Difference Vegetation Index*), dan indeks air ($NDWI$ = *Normalized Difference Water Index*). Adapun persamaan ketiga indeks tersebut adalah (Takeuchi dan Yasuoka, 2004):

$$NDVI = (NIR(B3) - VIS(B2)) / (NIR(B3) + VIS(B2)) \dots\dots\dots (37)$$

$$NDSI = (SWIR(B8) - VIS(B1)) / (SWIR(B8) + VIS(B1)) \dots\dots\dots (38)$$

$$NDWI = (VIS(B1) - NIR(B3)) / (VIS(B1) + NIR(B3)) \dots\dots\dots (39)$$

Dimana,

NIR = *near infra red*

VIS = *visible*

$SWIR$ = *shortwave infrared*

Bi = *band ke i (1-8)*

12. Analisis Statistika

Dilakukan analisis korelasi regresi nonlinier antara $NDSI$, $NDVI$, dan $NDWI$ dengan kadar lengas tanah untuk mendapatkan model estimasi kelengasan lahan.

13. Pendugaan Potensi Kekeringan dengan EF dan Lengas Lahan

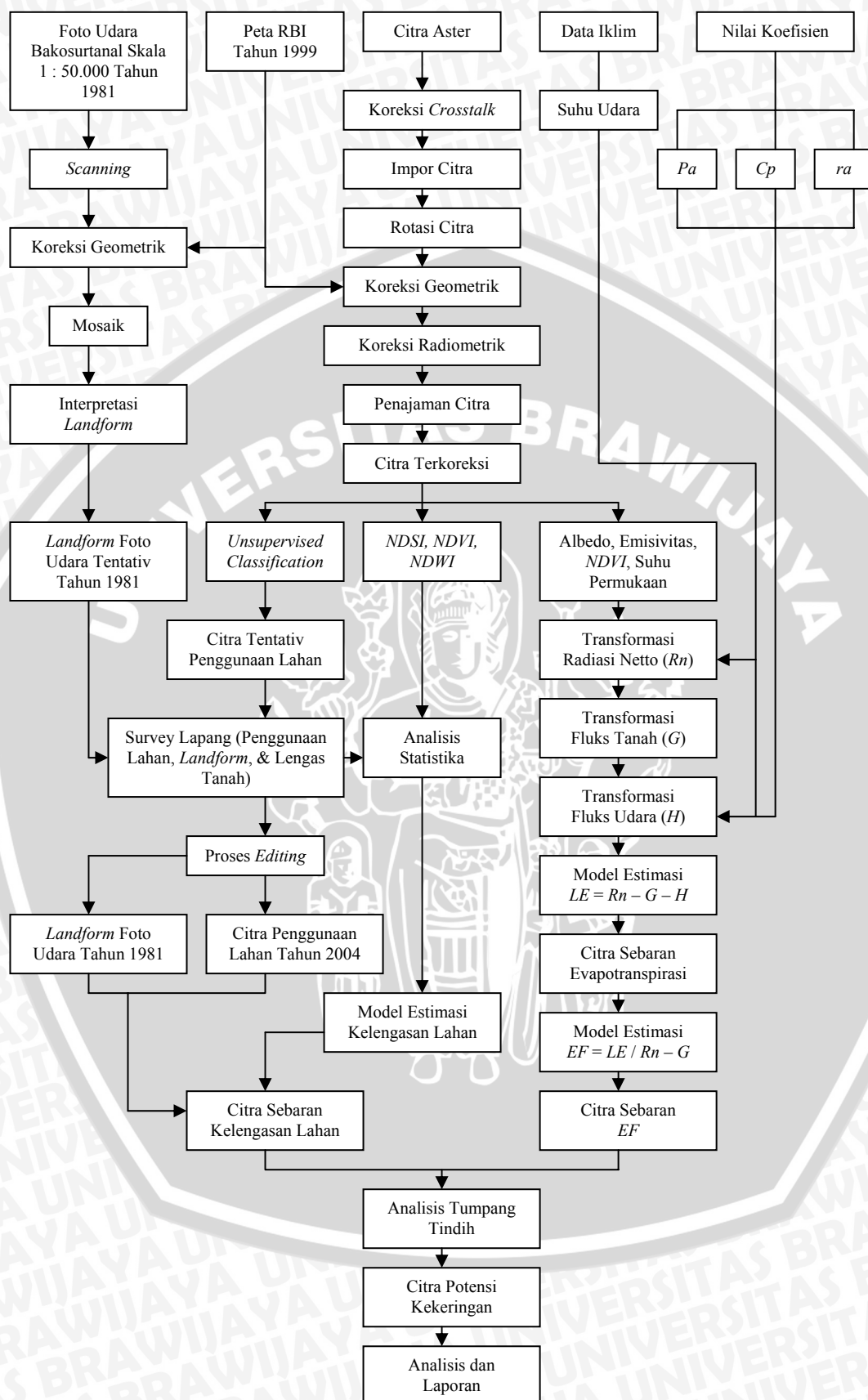
Pendugaan dilakukan dengan analisis SIG yaitu dengan melakukan tumpang tindih (*Overlay*) pada citra EF dan lengas lahan. Metode ini memanfaatkan fasilitas tumpang tindih pembobotan (*Weighted Overlay*) pada *Model Builder*. Hasil pembobotan ini kemudian dibagi menjadi tiga kelas potensi kekeringan, yaitu kelas Rendah (daerah yang tidak berpotensi mengalami kekeringan), kelas

Sedang (daerah yang berpotensi mengalami kekeringan sedang), dan kelas Tinggi (daerah yang berpotensi tinggi untuk mengalami kekeringan).

14. Resolusi Spasial Output Peta

Layout peta pada penelitian ini disajikan pada skala 1 : 250.000. Tetapi, Skala asli kedetailan peta aslinya adalah skala 1 : 50.000.



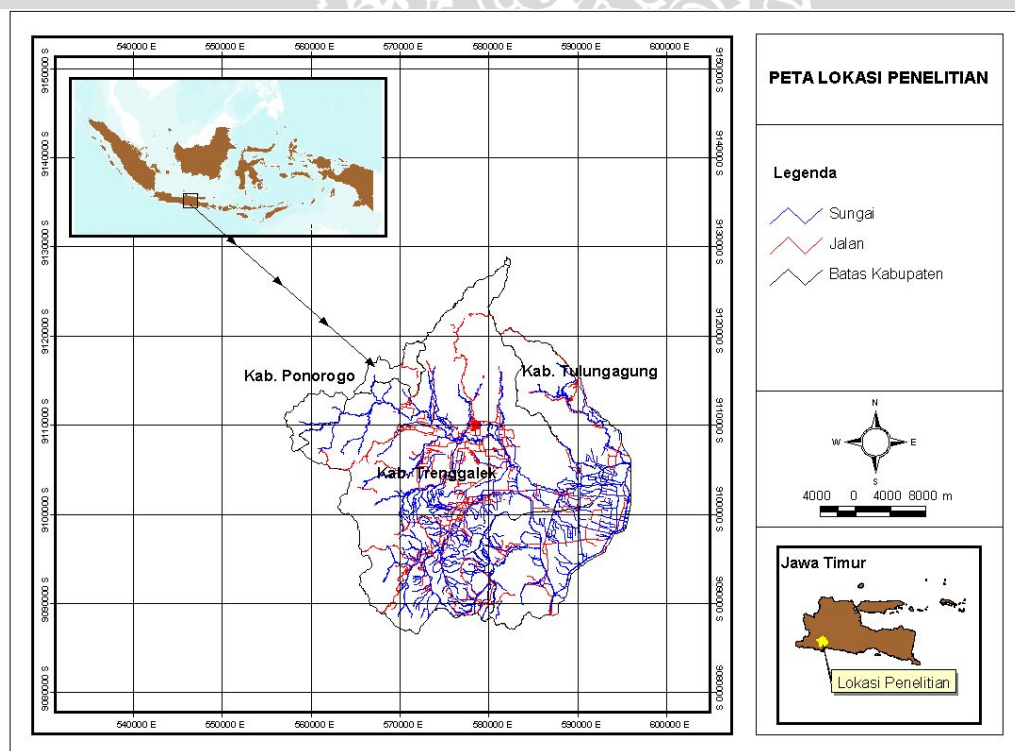


Gambar 2. Diagram Alir Metode Penelitian

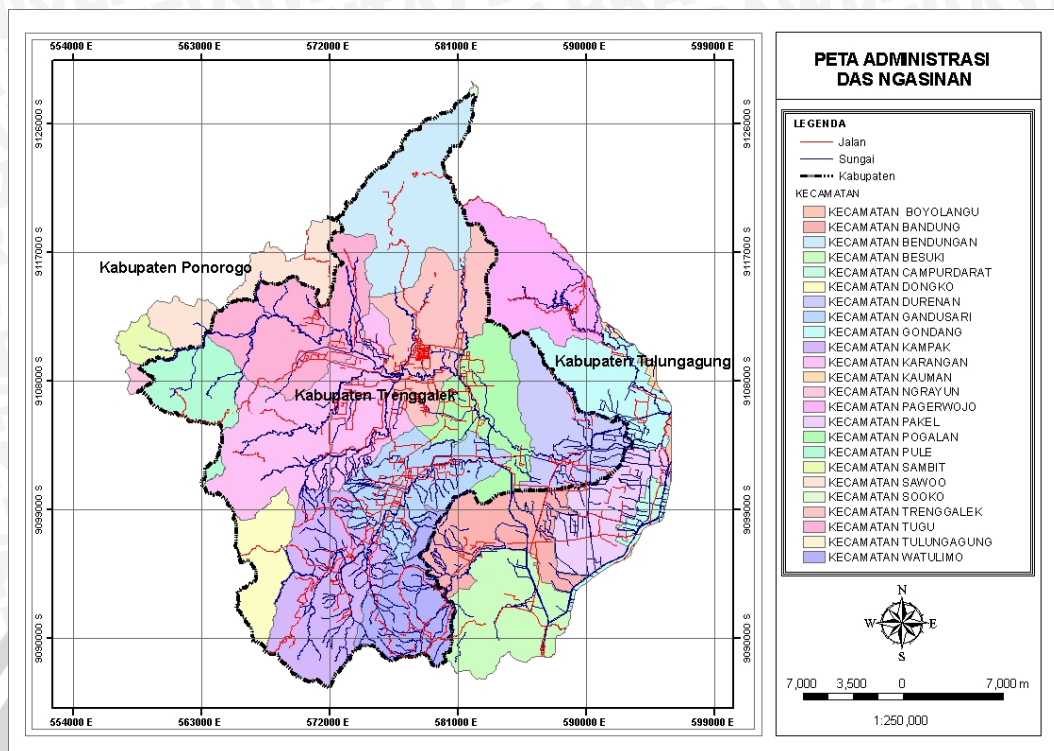
IV. KONDISI UMUM WILAYAH PENELITIAN

4.1. Lokasi

Secara administratif DAS Ngasinan terletak di 3 (tiga) wilayah Kabupaten di Propinsi Jawa Timur, yaitu Kabupaten Ponorogo, Trenggalek, dan Tulungagung, dengan wilayah terbesar ada di Kabupaten Trenggalek. Kemudian secara geografis, DAS Ngasinan terletak di $111^{\circ} 31' 12'' - 111^{\circ} 52' 12''$ BT dan $7^{\circ} 52' 48'' - 8^{\circ} 15' 36''$ LS. DAS Ngasinan memiliki luas wilayah sekitar 92.478 ha atau 924 km^2 yang berbatasan dengan Kabupaten Kediri di sebelah utara, Kabupaten Tulungagung bagian timur di sebelah timur, Pesisir Kabupaten Trenggalek di sebelah selatan dan bagian barat Kabupaten Ponorogo di sebelah barat. Peta Lokasi dan Peta administrasi wilayah DAS Ngasinan disajikan pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3. Peta lokasi penelitian



Gambar 4. Peta administrasi wilayah Das Ngasinan

Tabel 4. Daftar Kecamatan di DAS Ngasinan

No.	Kecamatan	Kabupaten	Luas (ha)
1.	Ngrayung	Ponorogo	255
2.	Sambit	Ponorogo	882
3.	Sawoo	Ponorogo	3.321
4.	Sooko	Ponorogo	47
5.	Bendungan	Trenggalek	6.951
6.	Dongko	Trenggalek	2.715
7.	Durenan	Trenggalek	4.890
8.	Gandusari	Trenggalek	5.359
9.	Kampak	Trenggalek	7.427
10.	Karangan	Trenggalek	10.187
11.	Pogalan	Trenggalek	4.839
12.	Pule	Trenggalek	3.128
13.	Trenggalek	Trenggalek	6.171
14.	Tugu	Trenggalek	7.089
15.	Watulimo	Trenggalek	4.043
16.	Boyolangu	Tulungagung	125
17.	Bandung	Tulungagung	4.709
18.	Besuki	Tulungagung	5.425
19.	Campurdarat	Tulungagung	963
20.	Gondang	Tulungagung	4.257
21.	Kauman	Tulungagung	247
22.	Pagerwojo	Tulungagung	5.580
23.	Pakel	Tulungagung	3.848
24.	Tulungagung	Tulungagung	19
Luas Total			92.478

Berdasarkan lokasi administratif, DAS Ngasinan terdiri dari 13 desa dan 4 (empat) kecamatan di Kabupaten Ponorogo, 114 desa dan 11 kecamatan di Kabupaten Trenggalek, dan 85 desa dan 9 kecamatan di Kabupaten Tulungagung. Gambaran lengkap posisi administratif DAS Ngasinan dapat dilihat pada Tabel 4.

4.2. Geologi

Berdasarkan Peta Geologi Lembar Tulungagung dan Madiun (Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, 1992) terdapat 12 satuan geologi yang menyusun DAS Ngasinan-Trenggalek. Satuan geologi tersebut adalah Qa (Endapan Permukaan Aluvium), Qav (Batuan Gunung api Kompleks Wilis-Morfoset Argokalangan), Tmcl (Batuan Sedimen Formasi Campurdarat), Tmj (Batuan Sedimen Formasi Jaten), Tmn (Batuan Sedimen Formasi Nampol), Tmw (Batuan Sedimen Formasi Wuni), Tmwl (Batuan Sedimen Formasi Wonosari), Toma (Batuan Sedimen Formasi Arjosari), Tomi(an) (Batuan Terobosan Formasi Arjosari-Mandalika-Campurdarat), Tomi(da) (Batuan Terobosan Dasit), Tomi(di) (Batuan Terobosan Diorit Kuarsa), dan Tomm (Batuan Gunung api Formasi Mandalika). Uraian lebih detil disajikan di Tabel 5.

Uraian satuan geologi penyusun DAS Ngasinan adalah sebagai berikut.

1. Endapan Permukaan Aluvium (Qa)

Endapan Permukaan Aluvium merupakan endapan sungai, pantai dan rawa. Daerah Tulungagung merupakan dataran aluvial dan daerah limpahan banjir Sungai Brantas. Endapan pantai hanya dijumpai setempat-setempat, di sepanjang pantai Selatan. Daerah berawa-rawa dijumpai di sekitar Campurdarat, yaitu Rawa Babuk dan Rawa Bening. Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 31.152 hektar atau 33,69 % dari luas DAS Ngasinan.

2. Batuan Gunung api Kompleks Wilis Morfoset Argokalangan (Qav)

Batuan Gunung api Kompleks Wilis Morfoset Argokalangan berupa endapan tefra dan lava andesit horenlenda. Tefranya dikuasai oleh endapan lahar; di samping lemparan piroklastik melalui udara (*airborne pyroclastics*), batuan

piroklastika terangkut air dan tuf. Morfoset ini mempunyai morfonit yaitu Morfonit Sedudo.

Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 3.940 hektar atau 4,26 % dari luas DAS Ngasinan.

3. Batuan Sedimen Formasi Campurdarat (Tmcl)

Batuan Sedimen Formasi Campurdarat tersusun atas batu gamping hablur, bersisipan batu liat berkarbon. Batu gamping hablur, kelabu muda hingga tua, kompak, pejal dan berfosil. Sebagian terpualamkan dan terpiritkan. Setempat berstruktur menggelombang. Batu gamping berongga yang tersingkap di Sukoharjo mengandung mangan. Tebalnya antara 10 dan 50 m. Batu liat berkarbon, kelabu atau kelabu kehitaman, sedikit gampingan dan berlapis baik. Sebagai sisipan, lapisan ini mempunyai tebal antara 15 dan 50 cm, dan umumnya berkembang di bagian atas satuan.

Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 8.965 hektar atau 9,69 % dari luas DAS Ngasinan.

4. Batuan Sedimen Formasi Jaten (Tmj)

Batuan Sedimen Formasi Jaten tersusun atas batu pasir gunung api dan tuf; dengan sisipan breksi gunung api, batu lanau berkarbon, batu gamping, napal dan batu liat.

Batu pasir gunung api, merupakan batuan yang menguasai satuan ini; berwarna kelabu sampai kelabu kecoklatan dan kuning kecoklatan; mampat, berbutir sedang sampai kasar, terpilah baik dengan bentuk butir agak meruncing sampai membundar tanggung; tersusun terutama oleh butiran plagioklas, pecahan batuan, dan sedikit K-felspar, mineral kedap cahaya, serta kuarsa; tebalnya lebih kurang 5 m. Batu pasir ini umumnya berlapis baik, dengan tebal lapisan antara 10 cm dan 1 m.

Tuf halus, berwarna putih sampai kelabu, tersusun atas felspar dan sedikit mineral kelam. Batuan ini umumnya berlapis dengan tebal lapisan dari 1 sampai 2 m; tetapi apabila berselingan dengan batu pasir gunung api, tebal lapisannya berkisar dari 10 cm sampai 1 m.

Formasi Jaten memiliki tebal sekitar 350 m. Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 1.476 hektar atau 1,60 % dari luas DAS Ngasinan.

5. Batuan Sedimen Formasi Nampol (Tmn)

Batuan Sedimen Formasi Nampol tersusun atas perulangan batu liat, batu pasir dan tuf; bersisipan konglomerat dan breksi. Batu liat, kecoklatan atau kelabu, berlapis baik, sebagian kompak dan keras, karbonan dan lignitan. Tebal lapisannya berkisar antara 20 dan 30 cm. Batu pasir, cokelat kekuningan, berlapis, tufan, berbutir sedang-kasar; terdiri dari feldspar, kuarsa dan mineral mafik. Setempat berstruktur perarian sejajar dan perlapisan bersusun. Tebalnya antara 20 dan 40 cm. Tuf, merah hati atau coklat kemerahan, umumnya lapuk, berukuran pasir-lapili; tuf hablur yang disusun oleh kuarsa, feldspar, horeblenda dan pecahan kaca gunung api. Setempat berupa tuf sela (*lithic tuff*), berkomponen batuan beku; tebalnya antara 30 dan 60 cm.

Batuan Sedimen Formasi Nampol ini bersentuhan langsung dengan Formasi Campurdarat yang berumur Miosen Awal. Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 1.641 hektar atau 1,77 % dari luas DAS Ngasinan.

6. Batuan Sedimen Formasi Wuni (Tmw)

Batuan Sedimen Formasi Wuni tersusun atas breksi gunung api, tuf, batu pasir dan batu lanau yang umumnya tufan; bersisipan batu gamping. Breksi gunung api, coklat kelabu, kompak, pejal; terdiri dari komponen andesit, dasit dan basal, berukuran 10-40 cm, menyudut tanggung hingga menyudut, bermasa dasar batu pasir tufan kasar; setempat mengandung pecahan kayu terkersikkan.

Tuf, putih kekuningan, berbutir halus-kasar, setempat mengandung bongkahan silika. Umumnya merupakan tuf hablur, berbutir kasar berupa tuf sela (*lithic tuff*), yang banyak mengandung batuan beku. Tebalnya antara 20 dan 50 cm.

Batu pasir, coklat kekuningan, berbutir sedang-kasar, tufan; terdiri dari kuarsa, felspar, piroksen dan sedikit komponen batuan beku. Batu pasir ini berupa sisipan di dalam breksi gunung api, tebalnya antara 10 dan 40 cm.

Batu lanau, kecoklatan, bersifat tufan, bersama-sama dengan batu pasir merupakan sisipan di dalam breksi gunung api. Tebalnya sekitar 20 cm.

Batuan Sedimen Formasi Wuni diduga berumur akhir Miosen Awal, yaitu sesudah pengendapan Formasi Jaten dan sebelum pembentukan Formasi Nampol. Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 1.839 hektar atau 1,99 % dari luas DAS Ngasinan.

7. Batuan Sedimen Formasi Wonosari (Tmwl)

Batuan Sedimen Formasi Wonosari tersusun atas batu gamping terumbu, batu gamping berlapis, batu gamping berkepingan, batu gamping pasir kasar, batu gamping tufan dan napal.

Batu gamping terumbu, putih-kelabu, kompak, banyak foraminifera, ganggang dan brioza, permukaan kasar dan tajam, tebalnya beberapa puluh meter.

Batu gamping berlapis, kelabu, tebal perlapisan dari beberapa mm sampai cm; berfosil foraminifera; tersingkap berselingan dengan batuan yang lainnya.

Batu gamping berkepingan, kelabu-coklat, berfosil foraminifera, ukuran antara 0,5 dan 3 cm, terdiri dari klastika, tuf dan batuan beku, tebal perlapisan antara 0,5 dan 2 m.

Batu gamping pasir kasar, kelabu-putih keruh, setempat berfosil foraminifera, moluska dan ganggang, tebal perlapisan antara 0,5 dan 20 cm, berupa sisipan dalam batu gamping pasir.

Napal, kelabu kehijauan, berlapis tipis antara 5 dan 20 cm; berfosil foraminifera dan moluska, sisa tumbuhan dan sisipan lignit dengan tebal antara 3 dan 10 cm.

Batuan Sedimen Formasi Wonosari ini berumur Miosen Tengah-Miosen Akhir. Formasi ini menindih selaras Formasi Jaten dan Formasi Nampol.

Tebalnya diduga antara 80 dan 400 m. Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 1.484 hektar atau 1,60 % dari luas DAS Ngasinan.

8. Batuan Sedimen Formasi Arjosari (Toma)

Batuan Sedimen Formasi Arjosari tersusun atas breksi aneka bahan, batu pasir, batu lanau, batu lempung dan konglomerat; bersisipan batuan gunung api.

Breksi aneka bahan berwarna kelabu hingga kelabu kehijauan; terdiri dari komponen andesit, dasit, diorite, tuf terkersikkan, batu pasir, batu lanau, batu liat dan batu gamping, berukuran 5-25 cm, menyudut-membundar tanggung, terpilah buruk, bermasa dasar batu pasir kasar, tufan. Tebalnya antara 2 dan 10 m. Batuan ini umumnya telah terubah, terkersikkan dan berwarna kehijauan.

Batu pasir berwarna kelabu atau kelabu kehijauan, berbutir kasar hingga sangat kasar, berlapis baik, tufan dan setempat mengandung lensa-lensa kecil batu lempung. Tebal lapisannya berkisar antara 1 dan 2 m. Batu lanau berwarna kelabu kecoklatan atau kelabu kekuningan, sebagian terkersikkan dan berlapis baik. Tebal lapisan antara 10-20 cm.

Batu liat berwarna kelabu kecoklatan atau coklat kehijauan, berlapis, tufan dan sebagian terkersikkan. Tebalnya berkisar antara 5 dan 10 cm.

Konglomerat berwarna kelabu kehijauan; terdiri dari komponen andesit, diorite, dasit, batu pasir dan batulempung, berukuran 2-5 cm, membundar tanggung hingga membundar, kemas terbuka dan bermasa dasar batu pasir, tufan kasar. Batuan ini sebagian mengalami ubahan, sehingga berwarna kehijauan. Tebalnya antara 1 dan 3 m.

Batuan gunung api berupa breksi gunung api, lava dan tuf, umumnya menempati bagian atas satuan. Batuan gunung api ini dapat dibandingkan dengan formasi Mandalika yang secara stratigrafi menindih diatasnya.

Batuan Sedimen Formasi Arjosari ini berumur Oligo-Miosen. Tebalnya diduga lebih dari 500 m. Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 10.114 hektar atau 10,94 % dari luas DAS Ngasinan.

9. Batuan Terobosan Formasi Arjosari-Mandalika-Campurdarat (Tomi (an))

Batuan Terobosan Formasi Arjosari-Mandalika-Campurdarat tersusun atas batuan Andesit, kelabu kehitaman, sayatan tipisnya menunjukkan tekstur porfiritik; berkomposisi andesin 40%, kuarsa 20%, ortoklas 15%, biotit 10%, bijih 5%, berukuran 0,3-0,5 mm, berbentuk subhedral, tertanam dalam masa dasar mikrolit plagioklas dan kaca gunung api 15%. Sebagian felsparnya berubah menjadi lempung. Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 46 hektar atau 0,05 % dari luas DAS Ngasinan.

10. Batuan Terobosan Dasit (Tomi (da))

Batuan Terobosan Dasit, kelabu tua hingga agak kehitaman, lapuk berwarna kecoklatan. Sayatan tipisnya memperlihatkan tekstur porfiritik; berkomposisi plagioklas 30%, ortoklas 10%, kuarsa 30%, biotit 10%, bijih 5%, berukuran 0,5-1 mm, berbentuk subhedral, di dalam masadasar mikrolit kuarsa dan feldspar 15%. Setempat mengubah batu liat menjadi lebih keras berwarna hitam, dan sebagian batu gamping berubah menjadi pualam; satuan tersebut terpropilitkan, terkersikkan dan terpiritkan. Diduga batuan ini berumur Miosen Tengah dan batas atasnya adalah pembentukan Formasi Jaten. Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 544 hektar atau 0,59 % dari luas DAS Ngasinan.

11. Batuan Terobosan Diorit Kuarsa (Tomi (di))

Batuan Terobosan Diorit Kuarsa, batuan yang segar berwarna kelabu, lapuk agak kecoklatan. Sayatan tipisnya menunjukkan tekstur porfiritik; berkomposisi plagioklas 50%, ortoklas 20%, horeblenda 10%, kuarsa 10%, biotit 5%, bijih 5%, fenokris berukuran 0,6-0,8 mm, dan berbentuk subhedral. Setempat ditemukan jenis diorit, di antaranya diorit kuarsa dan mikrodiorit. Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 488 hektar atau 0,53 % dari luas DAS Ngasinan.

12. Batuan Gunung api Formasi Mandalika (Tomm)

Batuan Gunung api Formasi Mandalika di bagian utara DAS Kali Ngasinan tersusun atas lava andesit dan dasit serta breksi gunung api; terpropilitkan, dengan sisipan batu gamping kristalin.

Lava andesit, berwarna kelabu sampai kelabu kehijauan, berbutir halus. Setempat dijumpai bongkahan andesit tersilikakan, berwarna kemerahan.

Lava dasit, berwarna kelabu agak terang, porfiri dengan plagioklas (oligoklas) dan kuarsa sebagai fenokris, dalam masa dasar feldspar mikrokristalin.

Breksi terpropilitkan, berwarna hijau. Baik kepingan maupun masa dasarnya sudah terkarsikan dan terkloritkan.

Batu gamping hablur, halus, berwarna kelabu, dan padat sebagai sisipan. Batuan ini berfosil foraminifera kecil. Kumpulan fosil ini menunjukkan umur Oligosen Tengah sampai Miosen Tengah.

Bongkahan batu gamping terkarsikan, berukuran sekitar 40 cm, di dalam formasi Jatén, Kumpulan fosil foraminifera kecil menunjukkan umur nisbi akhir Oligosen sampai Miosen Awal.

Formasi Mandalika di daerah ini berumur paling tidak Oligosen Akhir – Miosen Awal.

Batuan Gunung api Formasi Mandalika di bagian barat dan selatan DAS Ngasinan tersusun atas breksi gunung api, lava dan tuf; bersisipan batu pasir dan batu lanau.

Breksi gunung api, kelabu kecoklatan hingga kelabu kehijauan, kompak, pejal; terdiri dari komponen andesit, dasit, diorit dan basal, berukuran 3-30 cm, menyudut-membundar tanggung, kemas tertutup, terpilah sangat buruk dan bermasadasar batu pasir tufan kasar. Sebagian besar batumannya terubah dan terkarsikan, sehingga berwarna kehijauan. Tebalnya beragam antara 5-10 m. Setempat batuan ini banyak mengandung urat kuarsa yang arahnya tak teratur.

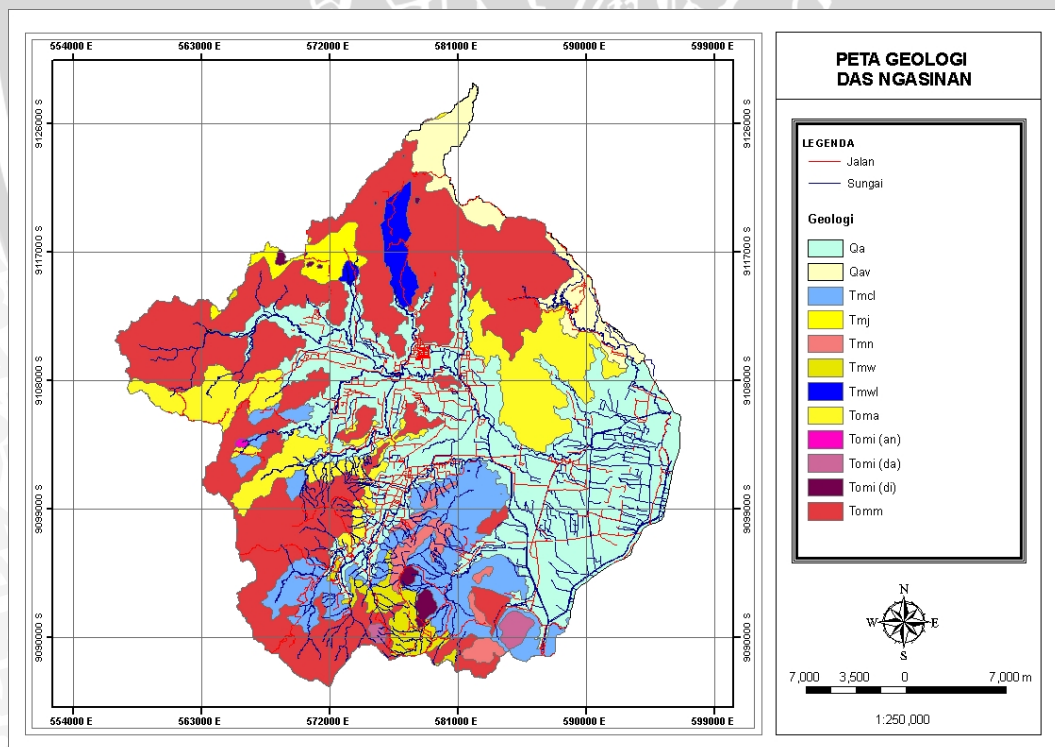
Lava, kehitaman, kelabu kehitaman atau hitam kehijauan, kompak, bersusunan andesit-basal, bertekstur halus, porfiritik, tersusun oleh plagioklas dan piroksin, bermasa dasar mikrolit plagioklas, umumnya terpropilitkan dan terkarsikan. Di beberapa tempat, lava ini terkekar meniang dan melembat, yang beberapa bidang kekarnya terisi pirit. Tebalnya

berkisar antara 50 dan 100 cm, setempat bahkan lebih dari 3 m; membentuk perulangan dengan breksi gunung api.

Tuf, coklat kekuningan, berukuran halus-sedang, sebagian terkarsikan. Tebalnya berkisar antara 1 dan 2 m. Bersama-sama dengan breksi gunung api lava, umumnya menempati bagian tengah dan atas satuan.

Batu pasir dan batu lanau yang bersifat tufan merupakan sisipan di bagian bawah satuan. Tebalnya berkisar antara 20 dan 50 cm, sebagian besar mengalami ubahan sehingga berwarna kehijauan, kedua batuan ini saling berselang-seling.

Batuan Gunung api Formasi Mandalika ini berumur Oligo-Miosen. Satuan batuan ini ditindih oleh Formasi Campurdarat, atau bersentuhan langsung dengan Formasi Jaten dan Formasi Wuni secara tak selaras. Bahan ini terhampar di DAS Ngasinan dengan luas lahan sekitar 30.789 hektar atau 33,29 % dari luas DAS Ngasinan.



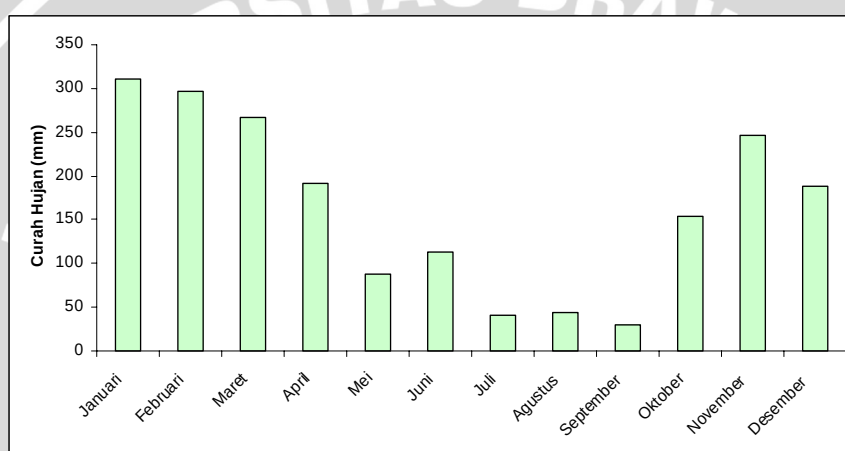
Gambar 5. Peta Geologi DAS Ngasinan

Tabel 5. Satuan Geologi DAS Ngasinan

No.	Kode	Jenis Batuan	Batuan Penyusun	Total	
				Hektar	Persen
1.	Qa	Endapan permukaan alluvium	Kerakal, kerikil, pasir, lanau, lempung, dan lumpur	31.152	33,69
2.	Qav	Batuan Gunung api Kompleks Wilis Morfofer Argokalangan	Endapan tefra dan lava andesit hornblende	3.940	4,26
3.	Tmcl	Batuan Sedimen Formasi Campurdarat	Batu gamping hablur, bersisipan batu liat berkarbon	8.965	9,69
4.	Tmj	Batuan Sedimen Formasi Jaten	Konglomerat, batu pasir konglomeratan, batu pasir kuarsa, batu pasir tufan, batulumpur, batu lanau, lignit dan tuf, setempat batu gamping	1.476	1,60
5.	Tmn	Batuan Sedimen Formasi Nampol	Perulangan batu liat, batu pasir dan tuf; bersisipan konglomerat dan breksi	1.641	1,77
6.	Tmw	Batuan Gunung api Formasi Wuni	Breksi gunung api, tuf, batu pasir tufan, batu pasir sela, dan batu lanau; setempat bersisipan lignit, berlensa batu gamping	1.839	1,99
7.	Tmwl	Batuan Sedimen Formasi Wonosari	Batu gamping terumbu, batu gamping berlapis, batu gamping berkepingan, batu gamping pasir kasar, batu gamping tufan dan napal	1.484	1,60
8.	Toma	Batuan Sedimen Formasi Arjosari	Breksi anekabahan, batu pasir, batu lanau, batu lempung dan konglomerat; bersisipan dengan batuan gunung api	10.114	10,94
9.	Tomi (an)	Batuan Terobosan Formasi Arjosari-Mandalika-Campurdarat	Andesit	46	0,05
10.	Tomi (da)	Batuan Terobosan Dasit	Dasit, berhablur kasar-halus, kelabu putih, porfiri dengan fenokris kuarsa bipiramidal, berkomposisi kuarsa, feldspar	544	0,59
11.	Tomi (di)	Batuan Terobosan Diorit Kuarsa	Diorit kuarsa bersama tinolit	488	0,53
12.	Tomm	Batuan Gunung api Formasi Mandalika	Lava andesit, basal, trakit, dasit dan breksi andesit	30.789	33,29
Luas Total				92.478	100

4.3. Iklim

Daerah penelitian termasuk ke dalam iklim tropik yang dicirikan oleh suhu dan kelembaban yang tinggi sepanjang tahun. Berdasarkan klasifikasi iklim menurut Scmidth – Ferguson daerah penelitian digolongkan ke dalam tipe iklim C dan D (agak basah sampai sedang), dengan bulan kering lebih dari 3. Bulan kering adalah bulan dengan curah hujan kurang dari 60 mm/bulan. Sedangkan bulan basah adalah bulan dengan curah hujan lebih dari 100 mm/bulan. Suhu udara di daerah penelitian berkisar antara 19,23 °C hingga 26,30 °C dengan suhu rata-rata 24 °C (Lampiran 3).



Gambar 6. Rata-rata CH Bulanan di 3 Stasiun Daerah Penelitian (1994-2003)

Variasi curah hujan tahunan daerah penelitian berkisar antara 1.630,8 mm sampai 2.194,3 mm. Data curah hujan diperoleh dari 3 stasiun hujan, yaitu stasiun Pagerwojo, Kampak, dan Tugu. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan selama 10 tahun dalam kurun waktu 1994-2003. Data curah hujan rata-rata bulanan di setiap stasiun curah hujan disajikan pada Gambar 6.

4.4. Bentuk Lahan (*Landform*)

Berdasarkan klasifikasi *landform* Marsoedi *et al.* (1994), terdapat 18 *landform* (bentuk lahan) di DAS Ngasinan-Trenggalek. *Landform* tersebut adalah Aliran Lava (V.1.3), Aliran Lahar (V.1.2), Aluvial (A.1), Dataran Tektonik Berombak (T.11.2), Dataran Tektonik Datar (T.11.1), Dataran Vulkanik Tua (V.3.1), Intrusi (T.12.1), Intrusi Vulkanik (V.4), Lereng Vulkan Atas (V.1.1.3), Lereng Vulkan Tengah (V.1.1.4), Lereng Vulkan Bawah (V.1.1.5), Lungur Vulkanik (V.1.6), Pelembahan Karst (K.*.4), Peneplain Bergelombang (T.10.3),

Perbukitan Karst (K.3), Perbukitan Tektonik (T.12.1), Perbukitan Vulkanik Tua (V.3.2), dan Punggung Karst (K.*.1). Pada Tabel 6 disajikan satuan *Landform* DAS Ngasinan.

Tabel 6. Satuan *Landform* (Bentuk Lahan) DAS Ngasinan

No.	Satuan <i>Landform</i>	Luas	
		Hektar	Persen
1.	Aliran lava	37,96	0,04
2.	Aliran lahar	1.363,73	1,47
3.	Aluvial	31.155,58	33,69
4.	Dataran tektonik berombak	1.251,24	1,35
5.	Dataran tektonik datar	368,05	0,40
6.	Dataran vulkanik tua	3.898,43	4,22
7.	Intrusi	1.352,33	1,46
8.	Intrusi vulkanik	151,61	0,16
9.	Lereng vulkan atas	58,28	0,06
10.	Lereng vulkan bawah	2.186,35	2,36
11.	Lereng vulkan tengah	1.317,24	1,42
12.	Lungur vulkanik	1.064,04	1,15
13.	Pelebahan karst	1.709,14	1,85
14.	Peneplain bergelombang	1.449,59	1,57
15.	Perbukitan karst	7.884,67	8,53
16.	Perbukitan tektonik	10.151,69	10,98
17.	Perbukitan vulkanik tua	27.026,34	29,22
18.	Punggung karst	51,73	0,06
Luas Total		92.478	100

1. Aliran Lava (V.1.3)

Aliran lava merupakan hasil atau akibat dari erupsi vulkan yang berupa magma padat yang membeku. *Landform* ini memiliki luas lahan terkecil dibandingkan *landform* yang lain di DAS Ngasinan yaitu sekitar 37,96 Hektar.

2. Aliran Lahar (V.1.2)

Aliran lahar merupakan hasil atau akibat dari kegiatan erupsi vulkan yang berupa aliran lahar dan terdapat pada bagian lereng kerucut dan atau kakinya, umumnya berupa bahan kasar (berbatu) dan halus (tanah). *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 1.363,73 Hektar atau 1,47 % dari luas DAS Ngasinan.

3. Aluvial (A.1)

Aluvial merupakan wilayah yang terbentuk karena proses fluvial dari bahan endapan sungai, biasanya berlapis-lapis dengan tekstur beragam, dicirikan oleh adanya kerikil/batu yang bentuknya membulat. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 31.155,58 Hektar atau 33,69 % dari luas DAS Ngasinan.

4. Dataran Tektonik Berombak (T.11.2)

Dataran tektonik berombak merupakan *landform* dataran tektonik dengan bentuk wilayah berombak (lereng dominan 3-8%). *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 1.251,24 Hektar atau 1,35 % dari luas DAS Ngasinan.

5. Dataran Tektonik Datar (T.11.1)

Dataran tektonik datar merupakan *landform* dataran tektonik dengan bentuk wilayah datar-agak datar (lereng dominan 0-3%). *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 368,05 Hektar atau 0,40 % dari luas DAS Ngasinan.

6. Dataran Vulkanik Tua (V.3.1)

Dataran vulkanik tua merupakan wilayah datar sampai bergelombang dari bahan vulkanik tua. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 3.898,43 Hektar atau 4,22 % dari luas DAS Ngasinan.

7. Intrusi (T.12.1)

Intrusi merupakan singkapan batuan (*Rock Outcrop*). *Landform* ini termasuk *landform* perbukitan/pegunungan tektonik dengan wilayah berbukit (lereng dominan >15% dan perbedaan tinggi 50-300 m). Biasanya terdapat di wilayah karst. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 1.352,33 Hektar atau 1,46 % dari luas DAS Ngasinan.

8. Intrusi Vulkanik (V.4)

Intrusi vulkanik merupakan penerobosan magma melalui celah/retakan/patahan dalam kulit bumi, membeku dibawah permukaan kulit bumi yang kemudian muncul di permukaan karena erosi; atau berasal dari pembekuan magma didalam perut bumi (batuan beku dalam) yang kemudian muncul di permukaan karena pengangkatan dan erosi.

Landform ini memiliki luas lahan sekitar 151,61 Hektar atau 0,16 % dari luas DAS Ngasinan.

9. Lereng Vulkan Atas (V.1.1.3)

Lereng vulkan atas merupakan bagian lereng atas kerucut vulkan yang curam, biasanya dengan garis-garis kikisan yang dalam. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 58,28 Hektar atau 0,06 % dari luas DAS Ngasinan.

10. Lereng Vulkan Bawah (V.1.1.5)

Lereng vulkan bawah merupakan bagian lereng bawah kerucut vulkan yang melandai. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 2.186,35 Hektar atau 2,36 % dari luas DAS Ngasinan.

11. Lereng Vulkan Tengah (V.1.1.4)

Lereng vulkan tengah merupakan bagian lereng tengah kerucut vulkan yang tidak terlalu curam dengan pola drainase radial. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 1.317,24 Hektar atau 1,42 % dari luas DAS Ngasinan.

12. Lungur Vulkanik (V.1.6)

Bagian dari sistem vulkan yang merupakan punggung-punggung atau lungur-lungur karena proses erosinya telah berlangsung cukup lama. Bisa terdapat di bagian lereng atas, lereng bawah, atau kaki vulkan. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 1.064,04 Hektar atau 1,15 % dari luas DAS Ngasinan.

13. Pelembahan Karst (K.*.4)

Pelembahan karst merupakan bagian bawah diantara punggung-punggung/bukit-bukit pada *Landform* karst yang tidak merupakan sinkhole, doline, uvala, maupun poljes. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 1.709,14 Hektar atau 1,85 % dari luas DAS Ngasinan.

14. Peneplain bergelombang (T.10.3)

Peneplain bergelombang merupakan *landform* peneplain dengan bentuk wilayah bergelombang (lereng dominan 8-15%). *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 1.449,59 Hektar atau 1,57 % dari luas DAS Ngasinan.

15. Perbukitan Karst (K.3)

Perbukitan karst merupakan wilayah karst dengan relief perbukitan. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 7.884,67 Hektar atau 8,53 % dari luas DAS Ngasinan.

16. Perbukitan Tektonik (T.12.1)

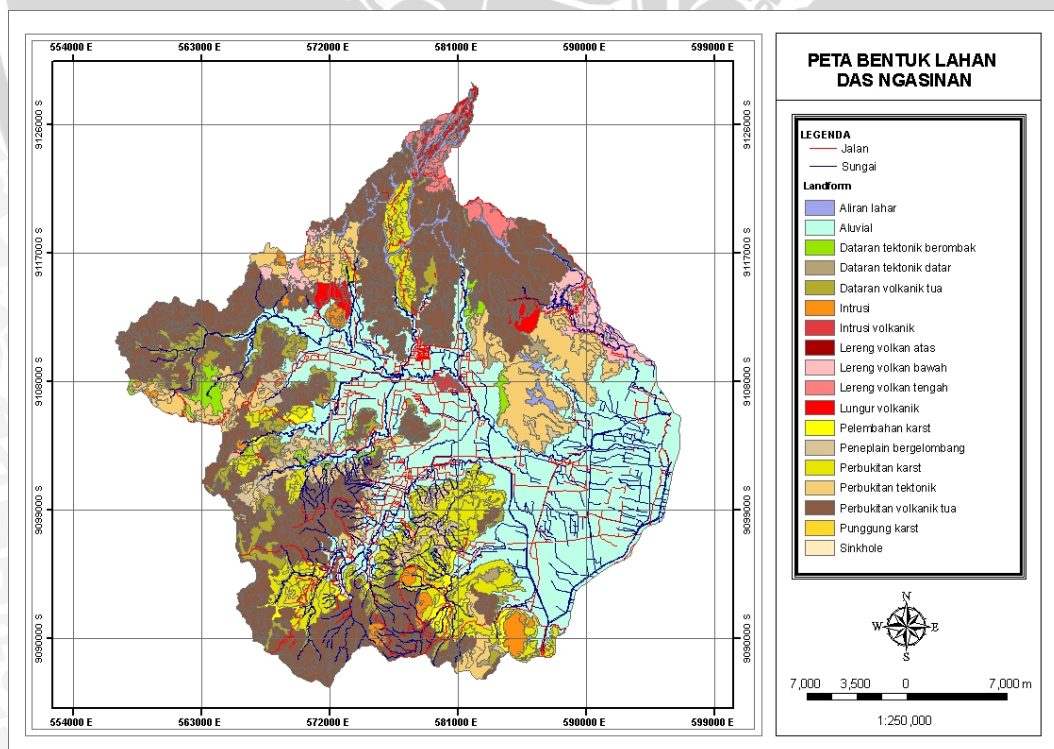
Perbukitan tektonik merupakan *landform* perbukitan/pegunungan tektonik dengan wilayah berbukit (lereng dominan >15% dan perbedaan tinggi 50-300 m). *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 10.151,69 Hektar atau 10,98 % dari luas DAS Ngasinan.

17. Perbukitan Vulkanik Tua (V.3.2)

Perbukitan vulkanik tua dengan lereng >15% dan perbedaan tinggi 50-300 m. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 27.026,34 Hektar atau 29,22 % dari luas DAS Ngasinan.

18. Punggung Karst (K.*.1)

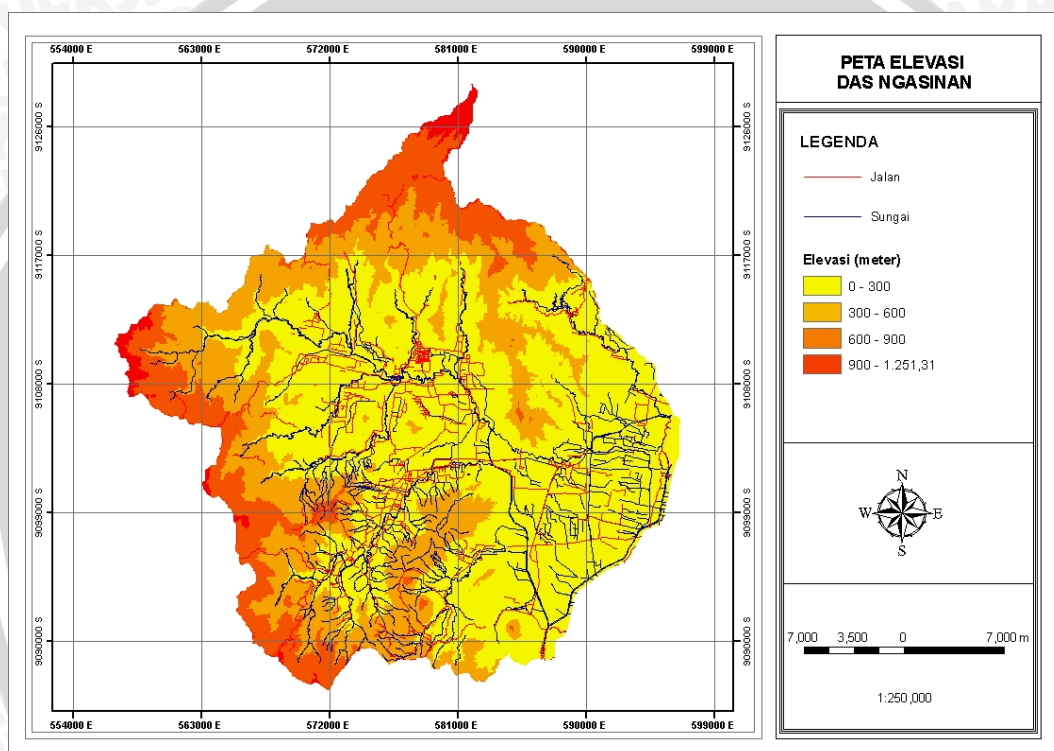
Punggung karst merupakan lungur dan bukit-bukit kecil dari bagian *landform* karst. *Landform* ini memiliki luas lahan sekitar 51,73 Hektar atau 0,06 % dari luas DAS Kali Ngasinan.



Gambar 7. Satuan Geologi DAS Ngasinan

4.5. Elevasi

Ketinggian tempat pada wilayah DAS Ngasinan berkisar antara 0 sampai 1.251,31 mdpl. Titik tertinggi terdapat di sekitar wilayah hulu dan yang terendah adalah sekitar wilayah hilir yang dekat dengan garis pantai selatan dimana aliran sungai akan bermuara di laut. Ketinggian di tempat ini sangat bervariasi sekali, hal ini disebabkan banyaknya proses geologi yang terjadi di wilayah tersebut. Peta ketinggian tempat wilayah DAS Ngasinan disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Peta Elevasi DAS Ngasinan

4.6. Lereng

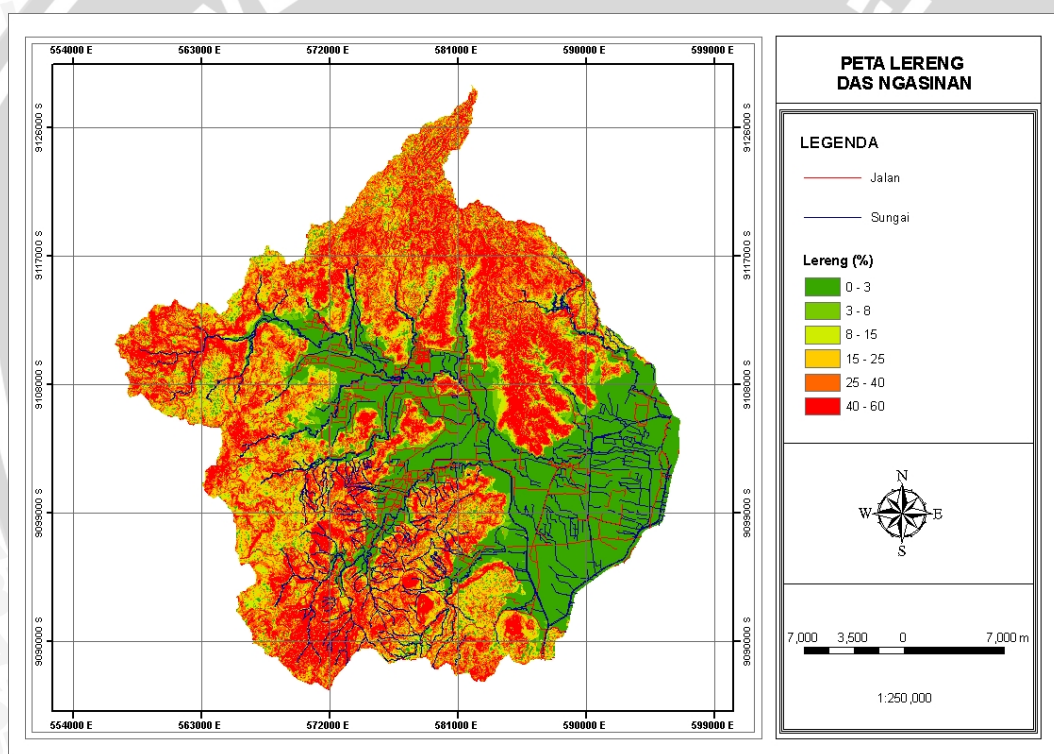
Berdasarkan analisis data dari Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 tahun 1999, terdapat 7 kelas lereng di DAS Ngasinan-Trenggalek. Kelas lereng tersebut adalah kelas 0 - 3% (datar), 3 -8% (landai), 8 – 15% (agak miring), 15 – 25% (miring), 25 – 40% (agak curam), 40 – 60% (curam) (Tabel 7).

Secara umum dapat dijelaskan bahwa daerah hulu DAS Kali Ngasinan didominasi oleh kelas lereng 8 – 15%, 15 – 25%, 25 – 40% dan di beberapa

tempat juga dijumpai kelas lereng >60%. Kelas lereng 0 – 3% dapat dijumpai hampir di seluruh daerah hilir DAS Ngasinan.

Tabel 7. Satuan Lereng DAS Ngasinan

No.	Kelas Lereng (%)	Lereng	Luas	
			Hektar	Persen
1.	0 - 3	Datar	35.943,26	38,87
2.	3 - 8	Landai	4.613,55	4,99
3.	8 - 15	Agak miring	9.222,62	9,97
4.	15 - 25	Miring	11.258,63	12,17
5.	25 - 40	Agak curam	9.326,36	10,08
6.	40 - 60	Curam	22.113,29	23,91
Luas Total			92.478	100



Gambar 9. Peta Lereng Das Ngasinan

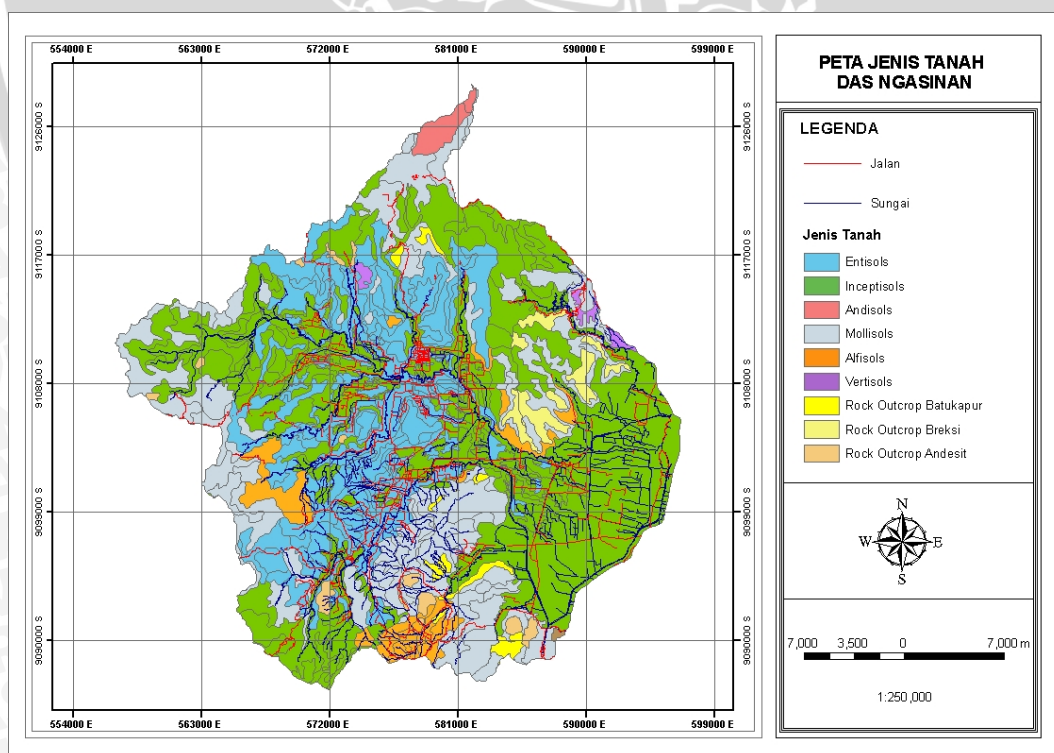
4.7. Tanah

DAS Ngasinan terbentuk dari letusan Gunung Wilis dengan bahan induk yang beragam. Penyebarannya pada bentuk wilayah dengan lereng sangat melandai hingga sangat curam. Pada umumnya di DAS Ngasinan, daerah dengan lereng sangat melandai terbentuk dari bahan vulkan. Bahan induk tufa andesitik,

batu kapur, breksi andesitik merupakan bahan pembentuk tanah di daerah berlereng agak miring hingga agak curam. Sedangkan di daerah sangat curam umumnya terbentuk dari bahan induk batuan andesitik/basaltik.

Jenis tanah yang terdapat di DAS Ngasinan juga beragam dikarenakan adanya perbedaan bahan induk dan faktor lingkungan. Pada umumnya, di bagian hulu sebelah utara DAS Ngasinan dijumpai *Rock Outcrop* Breksi, Inceptisols dan Andisols. Bagian Hulu sebelah barat dan selatan DAS Ngasinan dijumpai Alfisols, Mollisols, Inceptisols, *Rock Outcrop* Andesit, dan *Rock Outcrop* Batu kapur. *Rock Outcrop* Breksi dan Vertisols terdapat di bagian hulu sebelah timur. Bagian hilir didominasi oleh ordo Inceptisols dan Entisols. Peta jenis Tanah disajikan dalam Gambar 10.

Berdasarkan hasil klasifikasi tanah menurut sistem Taksonomi tanah (Soil Survey Staff, 1999), terdapat 6 jenis tanah di DAS Ngasinan yaitu Alfisols, Andisols, Entisols, Inceptisols, Mollisols, Vertisols, dan 3 jenis singkapan batuan (*Rock Outcrop*) yaitu *Rock Outcrop* Andesit, *Rock Outcrop* Breksi, *Rock Outcrop* Batu kapur (Gambar 10). Pada Tabel 8 disajikan Jenis Tanah DAS Ngasinan-Trenggalek.

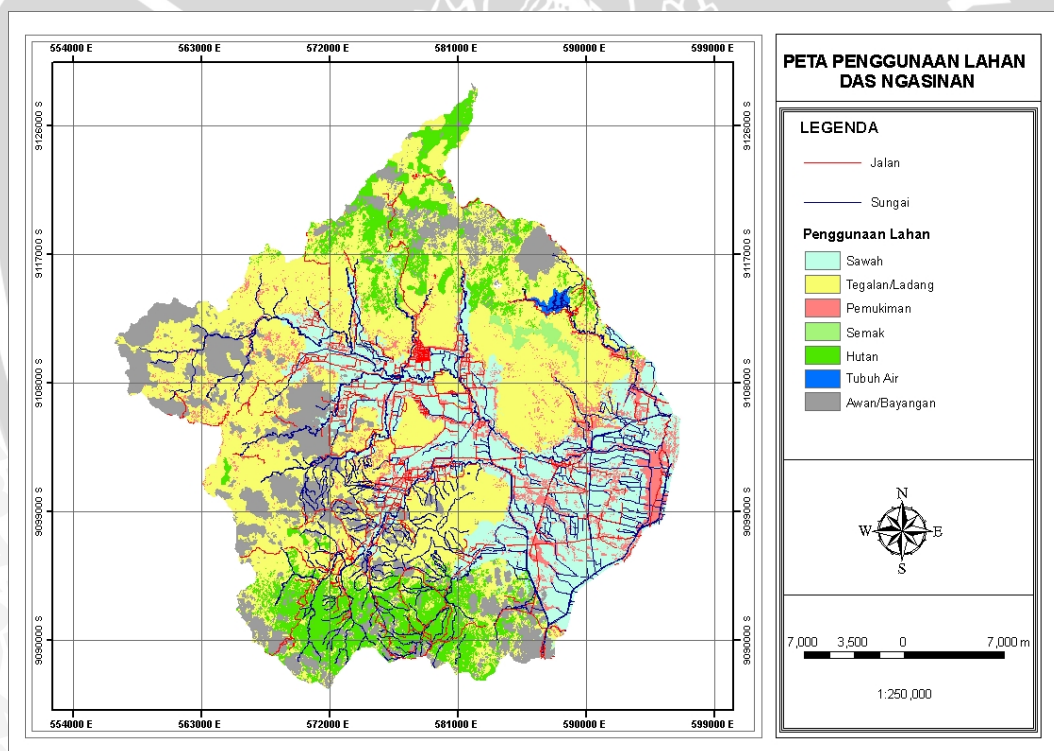


Gambar 10. Peta Jenis Tanah DAS Ngasinan

Tabel 8. Jenis Tanah dan Singkapan Batuan DAS Ngasinan

No.	Tanah	Luas	
		Hektar	Persen
1.	Entisols	21.434,20	23,18
2.	Inceptisols	41.852,05	45,26
3.	Andisols	730,65	0,79
4.	Mollisols	20.885,95	22,58
5.	Alfisols	3.571,14	3,86
6.	Vertisols	413,31	0,45
7.	Singk. Batuan Batukapur	1.034,69	1,12
8.	Singk. Batuan Breksi	1.619,55	1,75
9.	Singk. Batuan Andesit	936,76	1,01
Luas Total		92.478	100

4.8. Penggunaan Lahan



Gambar 11. Peta Penggunaan Lahan DAS Ngasinan

Penggunaan lahan yang terdapat di lokasi penelitian dikelompokkan menjadi 6 jenis penggunaan lahan yaitu sawah, tegalan/ladang, pemukiman, semak, hutan, dan tubuh air (Gambar 11). Jenis penggunaan lahan terluas adalah tegalan/ladang. Luasan ladang/tegalan pada wilayah penelitian mencapai

38.512,00 ha, luas sawah mencapai 19.403,21 ha, hutan 11.801,87 ha, pemukiman 7.374,53 ha, semak 562,01 ha, dan yang paling kecil adalah tubuh air dengan luasan hanya 283,00 ha. Tidak ada data yang disebabkan oleh awan atau bayangan adalah 14.540,90 ha. Total luas wilayah pada penelitian ini ialah 92.478 ha.

