

**ESTIMASI KADAR AIR TANAH MENGGUNAKAN PENGINDERAAN  
JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI SUB DAERAH  
ALIRAN SUNGAI (DAS) LESTI KABUPATEN MALANG**

Oleh

**TOMMY KURNIAWAN SUBIANTO**

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI  
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2015**

**ESTIMASI KADAR AIR TANAH MENGGUNAKAN PENGINDERAAN  
JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS DI SUB DAERAH  
ALIRAN SUNGAI (DAS) LESTI KABUPATEN MALANG**

Oleh

**TOMMY KURNIAWAN SUBIANTO**

**105040207111016**

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI  
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

**SKRIPSI**

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

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS PERTANIAN  
JURUSAN TANAH  
MALANG  
2015**

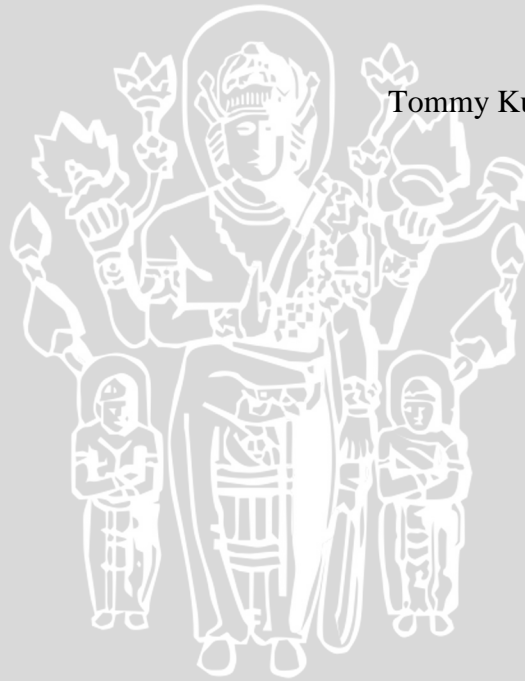
## PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, Agustus 2015

Tommy Kurniawan Subianto

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Skripsi : Estimasi Kadar Air Tanah Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Lesti Kabupaten Malang

Nama Mahasiswa : Tommy Kurniawan Subianto

NIM : 105040207111016

Jurusan : Tanah

Program Studi : Agroekoteknologi

Minat : Manajemen Sumberdaya Lahan

Menyetujui : Dosen Pembimbing

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Prof. Dr. Ir. Moch. Munir, MS  
NIP. 19540520 198103 1 002

Dr. Ir. Sudarto, MS  
NIP. 19560317 198303 1 003

a.n. Dekan  
Ketua Jurusan Tanah

Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU  
NIP. 19540501 198103 1 006

Tanggal Persetujuan :

**LEMBAR PENGESAHAN**

Mengesahkan

**MAJELIS PENGUJI**

Penguji I

Penguji II

Dr. Ir. Sugeng Prijono, SU  
NIP. 19580214 198503 1 003

Prof. Dr. Ir. Moch. Munir, MS  
NIP. 19540520 198103 1 002

Penguji III

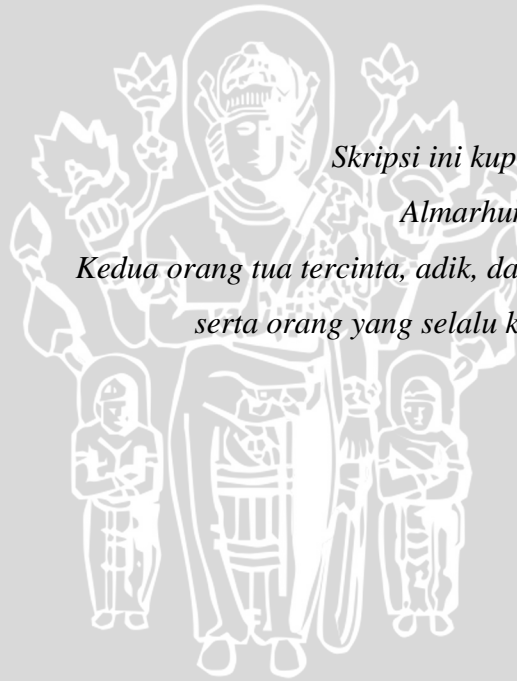
Penguji IV

Dr. Ir. Sudarto, MS  
NIP. 19560317 198303 1 003

Ir. Bambang Siswanto, MS  
NIP. 19500730 197903 1 001

Tanggal Lulus :

# UNIVERSITAS BRAWIJAYA



*Skripsi ini kupersembahkan untuk  
Almarhum Eko Sulistyowati,  
Kedua orang tua tercinta, adik, dan keluarga besarku  
serta orang yang selalu kusebut dalam doa'.*

## RINGKASAN

Tommy Kurniawan Subianto. 105040207111016. Estimasi Kadar Air Tanah Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Lesti Kabupaten Malang. Dibawah bimbingan Mochammad Munir sebagai pembimbing utama dan Sudarto sebagai pembimbing pendamping.

---

Informasi untuk perencanaan penggunaan kebutuhan air dapat diperoleh dengan beberapa cara, salah satu diantaranya adalah menggunakan analisis melalui *remote sensing* dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Berbagai penelitian mengenai pendugaan kadar air tanah menggunakan data penginderaan jauh telah banyak dilakukan dan telah berkembang luas. Saat ini, terdapat berbagai metode atau model-model yang telah dikembangkan dengan baik. Tujuan dari penelitian adalah menentukan model perkiraan sebaran kadar air tanah di Sub DAS Lesti menggunakan model-model yang telah ada (NDVI, NDWI, dan NDSI) dan model yang dikembangkan (menggunakan *digital number*) pada citra Landsat 8. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi kadar air tanah secara tepat dan akurat untuk perencanaan dan pengembangan pertanian.

Penelitian dilaksanakan di Sub DAS Lesti, Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur. Analisis kadar air tanah dilaksanakan di Laboratorium Fisika Tanah, Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Penelitian dilaksanakan pada bulan September sampai Oktober 2014. Jumlah titik pengamatan sebanyak 66 titik, 33 titik sebagai titik untuk estimasi dan 33 titik sebagai titik untuk validasi.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma NDVI, NDWI, dan NDSI mempunyai koefisien korelasi yang lemah masing-masing sebesar 0,27; 0,21; dan -0,21. Model estimasi kadar air tanah yang terbaik diperoleh melalui analisis regresi *stepwise* masing-masing nilai spektral setiap *band* pada citra Landsat 8 dengan persamaan  $y = 38,79 - 8,3(\text{band } 1) + 12,4(\text{band } 3) - 4,18(\text{band } 4)$  dengan nilai  $R^2 = 0,57$ . Hasil dari uji t-berpasangan antara hasil kadar air tanah model dengan hasil kadar air tanah validasi mendapatkan nilai  $P\text{-value} > \alpha = 0,05$  yaitu sebesar 0,52. Model *digital number* pada *band* 1,3, dan 4 merupakan model terbaik yang dapat diaplikasikan di wilayah Sub daerah aliran sungai Lesti Kabupaten Malang.

## SUMMARY

Tommy Kurniawan Subianto. 105040207111016. Soil Water Content Estimation Using Remote Sensing and Geographic Information Systems in Sub Watershed Lesti Distric Malang. Supervised by Mochammad Munir and Sudarto

---

Information for planning the use of water needs can be obtained in several ways, one of which is through the analysis of remote sensing and Geographic Information System (GIS). Various research on soil water content estimation using remote sensing data have been carried out and has been widespread. Currently, there are various methods or models that have been developed. The aim of the study is to determine the approximate model of the distribution of soil water content in the Lesti sub watershed using models that have been there (NDVI, NDWI, and NDSI) and the model developed (using a digital number) on Landsat 8. The benefits of this experiment is to provide soil water content information appropriately and accurately for the planning and development of agriculture.

Research conducted in the sub watershed Lesti, Distric Malang East Java Province. Analysis of soil water content held in the Laboratory of Soil Physics, Soil Department, Faculty of Agriculture, Brawijaya University. The research was conducted in September and October 2014. The number of observation points as many as 66 points, 33 points as the point for estimation and 33 points as the point for validation.

The results showed that NDVI algorithms, NDWI, and NDSI has a low correlation coefficient of 0.27, 0.21, and -0.21. Model estimates soil water content are best obtained through stepwise regression analysis of each spectral value of each band on Landsat 8 with the equation  $y = 38,79 - 8,3(\text{band } 1) + 12,4(\text{band } 3) - 4,18(\text{band } 4)$  with a value of  $R^2 = 0,57$ . Results of paired t-test between the results of the model soil water content with the results of the soil water content validation gain value  $P\text{-value} > \alpha = 0.05$  is equal to 0.52. Model digital number on the band 1,3, and 4 is the best model that can be applied in sub watershed Lesti Malang.



## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas kehadiran Allah SWT karena atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul **“Estimasi Kadar Air Tanah Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Lesti Kabupaten Malang”**.

Penulis menyadari banyak menerima bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini, sehingga tidak lupa penulis menyampaikan ucapan terima kasih banyak atas segala bantuan yang tulus dan ikhlas dari semua pihak, terutama kepada :

1. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, MS selaku Ketua Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya
2. Prof. Dr. Ir. Moch. Munir, MS dan Dr. Ir. Sudarto, MS selaku dosen pembimbing yang telah memberikan pengarahan, saran, dan bimbingannya kepada penulis selama penyusunan skripsi
3. Dosen serta staff Jurusan Tanah yang sudah banyak membantu dalam menyelesaikan kegiatan skripsi
4. Orang tua dan keluarga besar tercinta atas dukungan, arahan, dan doanya dalam setiap kesempatan
5. Edwin Panigoro, Zulfikar Rizky Perdana, Yudhistira Wharta Wahyudi, Felix Andri Yanbastian, Rendik Dwi Oktaviyanto, dan Chandra Hasan atas semangat, kerja keras, dan dukungannya ketika survei di lapangan
6. Teman-teman RELIOS 2010 atas bantuan, dukungan, dan doanya yang telah diberikan
7. Seluruh kakak dan adik tingkat seperjuangan di Jurusan Tanah terima kasih atas kebersamaan, dukungan, perhatian, dan bantuannya serta semua pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang turut berpartisipasi atas penyusunan skripsi ini

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini memiliki kekurangan, sehingga penulis mengharapkan saran dan masukan untuk kesempurnaan skripsi ini.

Malang, Agustus 2015

Penulis

## RIWAYAT HIDUP

Penulis dilahirkan di Mojokerto pada tanggal 25 Juni 1992 sebagai putra pertama dari Bapak Ichwan Subianto dan Alm. Ibu Eko Sulistyowati. Penulis menempuh pendidikan dasar di SDN Mojosari 1 Kab. Mojokerto, kemudian melanjutkan ke SMPN 1 Ngoro, Kab. Mojokerto pada tahun 2004-2007. Pada tahun 2007-2010 penulis melanjutkan pendidikan jenjang menengah di SMK Pahlawan Mojosari, Kab. Mojokerto dan tercatat sebagai mahasiswa Universitas Brawijaya, Malang pada tahun 2010 di Program Studi Agroekoteknologi melalui jalur SPMK. Pada tahun 2012 penulis tercatat sebagai mahasiswa minat Manajemen Sumber Daya Lahan, Jurusan Tanah Universitas Brawijaya, Malang.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah aktif di FOKUSHIMITI (Forum Komunikasi Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah Indonesia) Wilayah 3 sebagai anggota Divisi Penelitian dan Pengembangan periode 2012-2014. Penulis juga aktif dalam berbagai kepanitian di lingkup Fakultas.

Penulis tidak hanya aktif dalam bidang non akademik, di bidang akademik penulis pernah menjadi asistem praktikum Teknologi Produksi Tanaman pada tahun 2013, Irigasi dan Drainase pada tahun 2013, Manajemen Agroekosistem pada tahun 2013, Survei Tanah dan Evaluasi Lahan pada tahun 2013 dan 2014, Sistem Informasi Sumber Daya Lahan pada tahun 2014 dan 2015.

## DAFTAR ISI

	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR LAMPIRAN	ix
<b>I. PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Tujuan	2
1.3. Hipotesis	2
1.4. Manfaat	2
1.5. Alur Pikir	2
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>4</b>
2.1. Kadar Air Tanah	4
2.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kadar Air Tanah	4
2.3. Konsep Dasar Penginderaan Jauh	5
2.4. Citra Landsat 8 OLI/TIRS	10
2.5. Penginderaan Jauh untuk Analisis Kadar Air Tanah	11
<b>III. METODE PENELITIAN</b>	<b>14</b>
3.1. Tempat dan Waktu	14
3.2. Alat dan Bahan	15
3.3. Metode Penelitian	15
3.4. Tahapan Penelitian	15
3.5. Alur Kerja	23
<b>IV. KONDISI UMUM WILAYAH</b>	<b>24</b>
4.1. Lokasi	24
4.2. Geologi	24
4.3. Lereng	27
4.4. Ketinggian Tempat	27
4.5. Bentuk Lahan	28
4.6. Jenis Tanah	33
4.7. Iklim	35
4.8. Penggunaan Lahan	37
<b>V. HASIL DAN PEMBAHASAN</b>	<b>40</b>
5.1. Hasil	40
5.2. Pembahasan	44

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

6.2. Saran

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

51

51

51

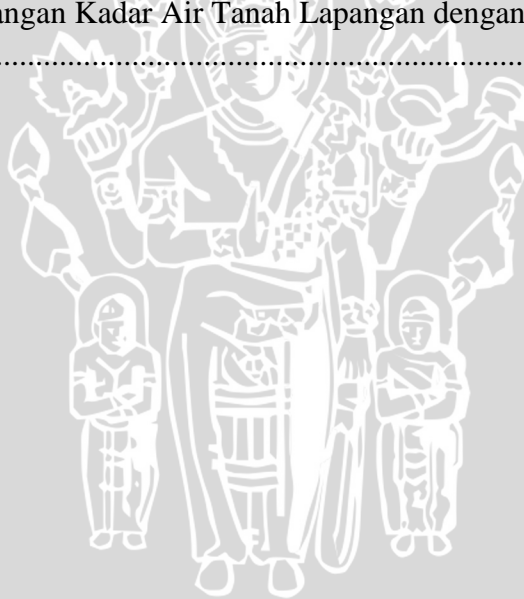
52

55



DAFTAR TABEL

No	Teks	Halaman
1.	Karakteristik <i>band</i> pada Citra Landsat 8 OLI/TIRS .....	11
2.	Kelas Kerapatan Vegetasi .....	18
3.	Luas Geologi Sub Das Lesti .....	25
4.	Luas Kelerengan Sub Das Lesti .....	27
5.	Luas Ketinggian Tempatkan Sub Das Lesti .....	28
6.	Luas Bentuk Lahan Sub Das Lesti .....	33
7.	Luas Jenis Tanah Sub Das Lesti .....	33
8.	Luas Penggunaan Lahan Sub Das Lesti .....	37
9.	Nilai Akurasi Pada Setiap Penggunaan Lahan .....	38
10.	Hasil <i>Accuracy Assessment</i> Penggunaan Lahan .....	38
11.	Luasan Sebaran Kadar Air Tanah Menggunakan <i>Band</i> 1, 3, dan 4 .....	47
12.	Hasil Uji t-berpasangan Kadar Air Tanah Lapangan dengan <i>Band</i> 1, 3, dan 4 .....	48

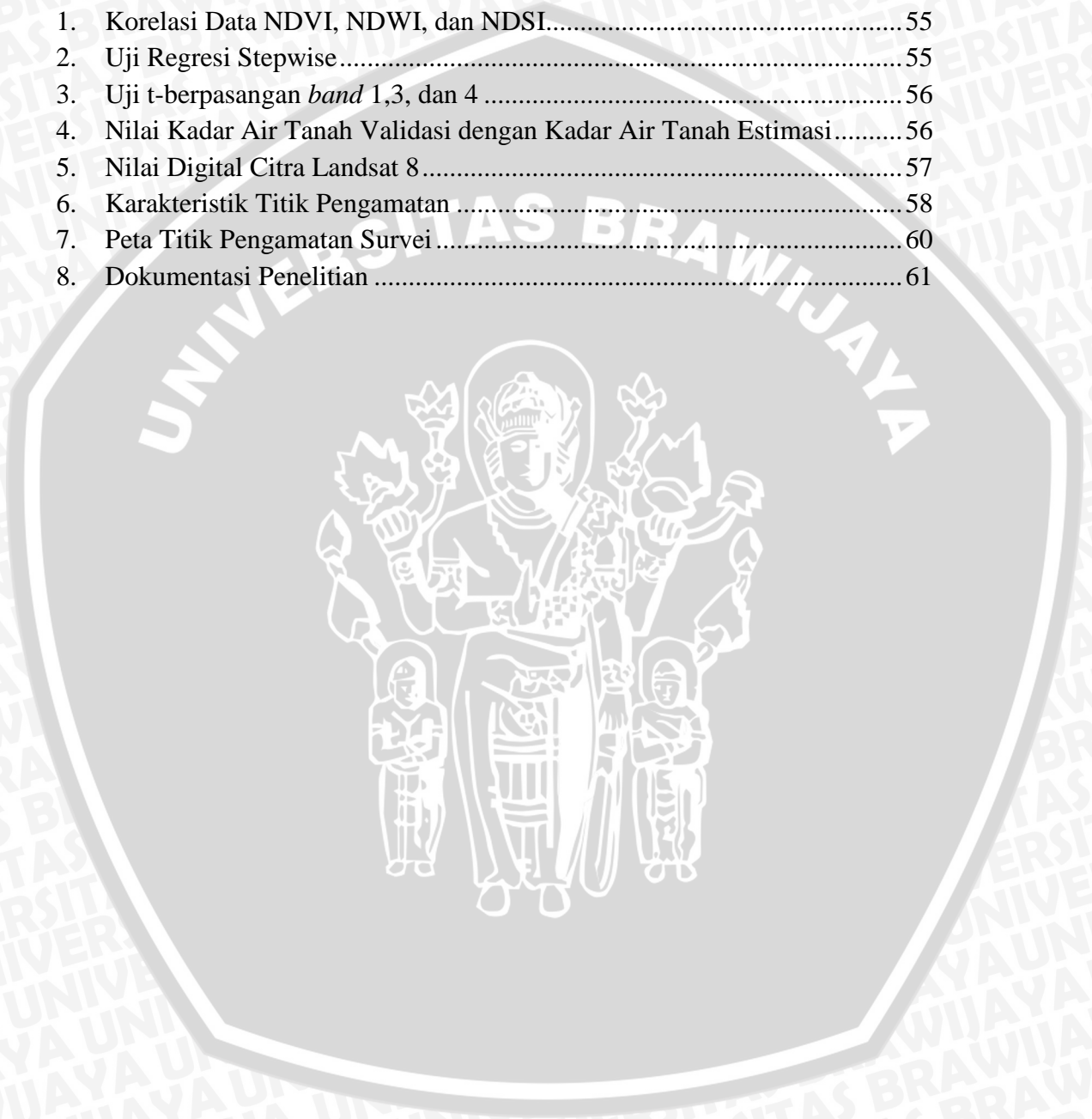


## DAFTAR GAMBAR

No	Teks	Halaman
1.	Alur Pikir .....	3
2.	Proses Penginderaan Jauh .....	6
3.	Lokasi Penelitian.....	14
4.	Mekanisme NDVI pada Tanaman.....	18
5.	Bagan Klasifikasi Hirarki .....	20
6.	Alur Kerja Penelitian .....	23
7.	Peta Geologi Sub Das Lesti .....	26
8.	Peta Kelerengan Sub Das Lesti .....	30
9.	Peta Ketinggian Tempat Sub Das Lesti .....	31
10.	Peta Bentuk Lahan Sub Das Lesti.....	32
11.	Peta Jenis Tanah Sub Das Lesti .....	34
12.	Curah Hujan Rata-rata Tahunan Tahun 2006-2014.....	35
13.	Peta Curah Hujan Sub Das Lesti.....	36
14.	Peta Penggunaan Lahan Sub Das Lesti.....	39
15.	Grafik Sebaran Nilai Digital NDVI .....	40
16.	Grafik Sebaran Nilai Digital NDWI .....	41
17.	Grafik Sebaran Nilai Digital NDSI.....	41
18.	Ilustrasi Kenampakan Nilai Digital pada Citra Satelit Landsat 8 .....	42
19.	Grafik Sebaran Nilai Digital Citra Satelit Landsat 8 OLI.....	43
20.	Karakteristik Panjang Gelombang Citra Landsat .....	43
21.	Hubungan Kadar Air Tanah dengan Nilai NDVI .....	44
22.	Hubungan Kadar Air Tanah dengan Nilai NDWI .....	45
23.	Hubungan Kadar Air Tanah dengan Nilai NDSI.....	46
24.	Peta Estimasi Kadar Air Tanah Sub Das Lesti .....	49

DAFTAR LAMPIRAN

No	Teks	Halaman
1.	Korelasi Data NDVI, NDWI, dan NDSI.....	55
2.	Uji Regresi Stepwise.....	55
3.	Uji t-berpasangan <i>band</i> 1,3, dan 4 .....	56
4.	Nilai Kadar Air Tanah Validasi dengan Kadar Air Tanah Estimasi.....	56
5.	Nilai Digital Citra Landsat 8.....	57
6.	Karakteristik Titik Pengamatan .....	58
7.	Peta Titik Pengamatan Survei.....	60
8.	Dokumentasi Penelitian .....	61



## I. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Informasi untuk perencanaan penggunaan kebutuhan air dapat diperoleh dengan beberapa cara, salah satu diantaranya adalah menggunakan analisis melalui *remote sensing* dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Berbagai penelitian mengenai pendugaan kadar air tanah menggunakan data penginderaan jauh telah banyak dilakukan dan telah berkembang luas. Saat ini, terdapat berbagai metode atau model-model yang telah dikembangkan dengan baik. Menurut Serrano *et al.* (2004), pada dasarnya terdapat lima jenis metode yang digunakan untuk menduga kandungan air dalam tanah. Metode pertama menggunakan citra gelombang mikro yang didasari pada tingkat penyerapan (*absorption*) yang tinggi dari radiasi gelombang elektromagnetik yang disebabkan oleh air. Metode kedua didasari pada model-model termal inersia menggunakan informasi termal *visible* dan inframerah. Metode ketiga telah banyak dilakukan yaitu dengan melihat kondisi radiometrik pada permukaan tanah yang berbeda dengan menggunakan panjang gelombang inframerah tengah. Metode ini diterapkan untuk menduga tingkat kelembapan tanah dan vegetasi. Metode keempat yaitu menggunakan kombinasi *band* atau kanal dan pengukuran lapangan untuk memperoleh kebenaran hasil pengukuran. Metode terakhir adalah menggunakan hubungan spasial antara suhu permukaan dan indeks vegetasi.

Kadar air tanah juga diduga dalam hubungannya dengan nilai pantulan spektral dari tutupan lahan di muka bumi ke satelit penginderaan jauh. Pantulan objek yang ada di muka bumi dapat mempengaruhi nilai *digital number* setiap *band* di daerah pertanian yang diteliti. Analisis kadar air dilakukan dengan menggunakan penginderaan jauh dan sistem informasi geografi. Tujuan dari penelitian ini adalah menemukan formula matematik hubungan antara kadar air tanah di lapangan dengan nilai *digital number* pada setiap *band*, dalam citra satelit Landsat. Selain itu, juga mencoba mencari hubungan antara kadar air tanah di lapangan dengan NDVI, NDWI, dan NDSI yang di analisis dari citra satelit.

Penelitian ini dilakukan di wilayah Sub DAS (Daerah Aliran Sungai) Lesti yang merupakan bagian dari DAS Brantas hulu. Sub DAS Lesti merupakan DAS



prioritas yang mempunyai permasalahan terhadap kerusakan lahan, erosi dan tanah longsor serta tingginya perubahan penggunaan lahan (Wibowo *et al.*, 2013).

Sub DAS Lesti didominasi lahan budidaya yang rawan kekeringan karena tekstur tanah yang kasar. Tekstur kasar ini dipengaruhi oleh aktivitas Gunung Semeru yang dapat mempengaruhi keberadaan air di dalam tanah. Hal ini dikarenakan tekstur tanah yang kasar sangat mudah meloloskan air dan sulit untuk menahan air.

### **1.2. Tujuan**

Menentukan model perkiraan sebaran kadar air tanah di Sub DAS Lesti menggunakan model-model yang telah ada (NDVI, NDWI, dan NDSI) dan model yang dikembangkan (menggunakan *digital number*) pada citra Landsat 8.

### **1.3. Hipotesis**

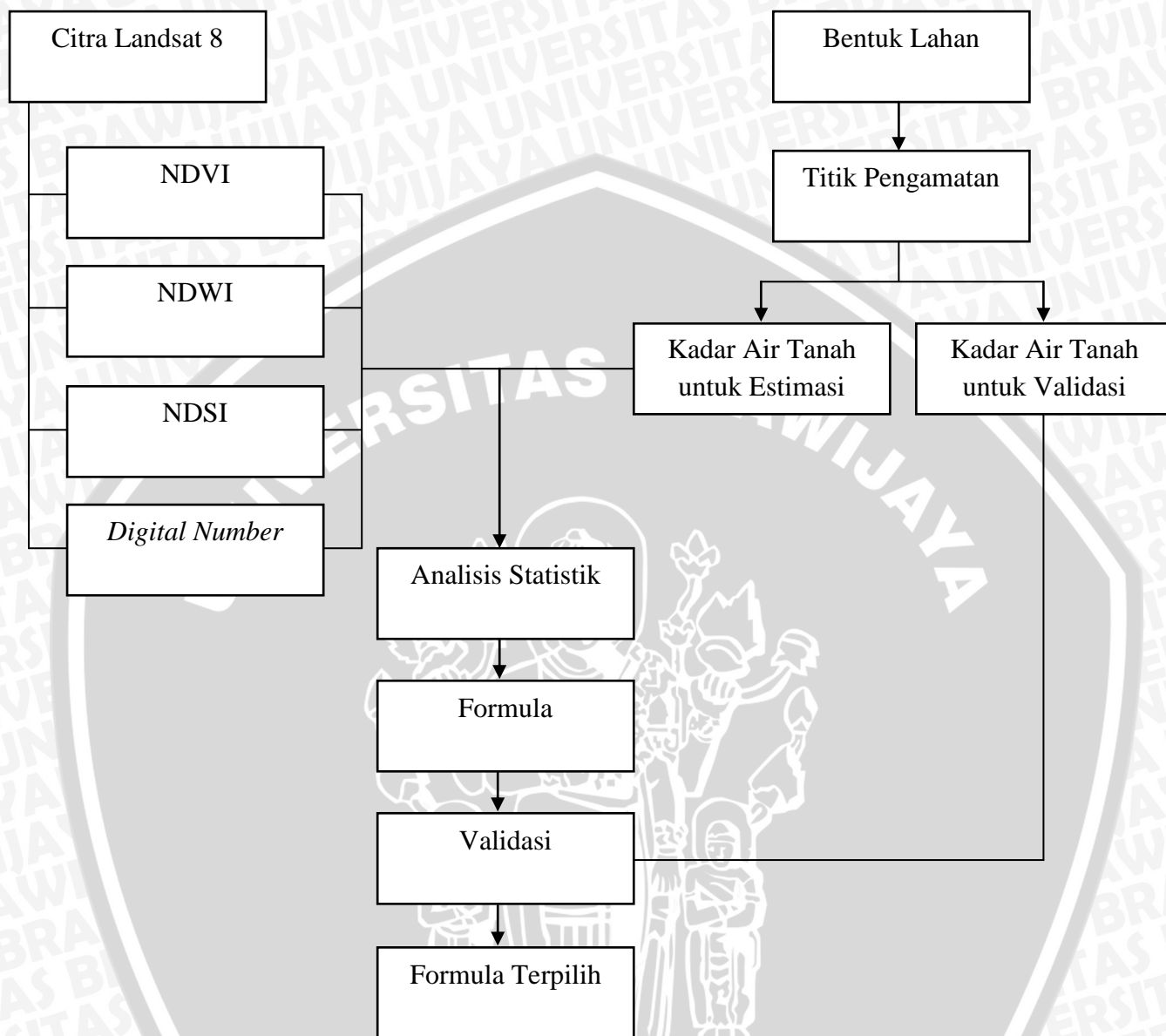
NDWI merupakan model yang paling baik digunakan untuk mengestimasi kadar air tanah di Sub DAS Lesti.

### **1.4. Manfaat**

Memberikan informasi tentang kadar air tanah untuk perencanaan dan pengembangan pertanian kepada masyarakat dan pemerintah daerah dalam waktu yang sangat cepat dan tepat.

### **1.5. Alur Pikir**

Penginderaan jauh merupakan teknologi yang sudah banyak digunakan dalam menduga berbagai macam perencanaan kebutuhan air. Beberapa teknologi yang sudah banyak digunakan adalah menggunakan indeks yaitu, NDVI, NDWI, dan NDSI. Metode yang ditambahkan adalah menggunakan *digital number* dari Citra Landsat 8. Metode baru ini diharapkan mampu digunakan untuk mengestimasi kadar air tanah selain menggunakan indeks. Alur pikir yang digunakan dalam penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Pikir

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Kadar Air Tanah

Kadar air tanah dinyatakan dalam persen volume yaitu persentase volume air terhadap volume tanah. Cara ini mempunyai keuntungan karena dapat memberikan gambaran tentang ketersediaan air bagi tanaman pada volume tanah tertentu. Cara penetapan kadar air dapat dilakukan dengan sejumlah tanah basah dikering ovenkan dalam oven pada suhu  $100^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$  untuk waktu tertentu (Hakim *et al.*, 1986). Air yang hilang karena pengeringan merupakan sejumlah air yang terkandung dalam tanah tersebut. Cara penetapan kadar air tanah dapat digolongkan dengan beberapa cara penetapan kadar air tanah dengan gravimetrik, tegangan atau hisapan, hambatan listrik dan pembauran neutron (Hardjowigeno, 1993).

Salah satu faktor penting yang mempengaruhi variasi kadar air adalah suhu. Beberapa penelitian mengindikasikan adanya hubungan yang kuat antara kandungan air tanah dengan suhu permukaan (Serrano *et al.*, 2004). Pada lahan bervegetasi dan non vegetasi, evaporasi dan transpirasi meningkat seiring meningkatnya kandungan air tanah.

### 2.2. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Kadar Air Tanah

Faktor yang mempengaruhi kadar air tanah adalah tekstur tanah, struktur tanah, kandungan bahan organik, dan kedalaman solum tanah. Selain itu, juga berpengaruh terhadap iklim dan tutupan lahannya.

Tekstur tanah biasanya mengacu pada jumlah fraksi tanah yang dikandungnya. Ada tiga golongan tekstur tanah yang utama, yaitu pasir, debu, dan klei. Semakin halus tekstur tanahnya, semakin tinggi pula kemampuan tanah dalam menahan air.

Struktur tanah adalah kecenderungan butir-butir tanah membentuk gumpalan tanah atau menunjukkan keremahan tanah. Struktur tanah dipengaruhi oleh tekstur tanah, bahan organik, tipe mineral serta kegiatan biologis, terutama kegiatan biologis jamur dan cacing tanah. Struktur tanah yang lepas dan gembur akan mempunyai kemampuan yang rendah dalam mengikat air, sehingga

kandungan airnya rendah pula. Sedangkan struktur tanah gumpal biasanya memiliki kemampuan yang kuat untuk menahan air.

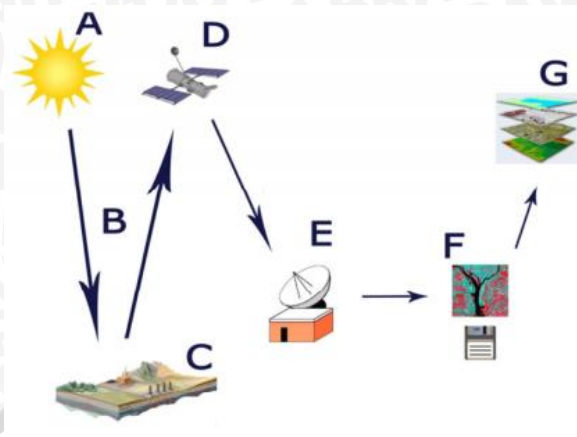
Kadar bahan organik akan mempengaruhi kemantapan struktur tanah dan selanjutnya mempengaruhi porositas tanah. Bahan organik mampu mengikat tanah berstruktur gembur atau lepas menjadi tanah berstruktur kuat dan gumpal. Dengan demikian akan mengurangi porositas tanah dan meningkatkan kemampuan mengikat air.

Kedalaman solum tanah mempengaruhi kemampuan tanah dalam menahan air. Tanah yang lebih dalam akan lebih tinggi kemampuannya dalam menahan air dibanding dengan tanah yang lebih tipis. Tanah yang dangkal biasanya berstruktur gembur dan mudah tererosi, selain itu biasanya bervegetasi jarang sehingga faktor pendukung penahan air berkurang.

Sejumlah faktor lainnya seperti iklim dan tumbuhan mempunyai pengaruh yang penting bagi ketersediaan air yang dapat yang dapat diabsorpsi dengan efisiensi tumbuhan dalam tanah. Temperatur dan perubahan udara merupakan perubahan iklim dan berpengaruh pada efisiensi penggunaan air tanah dan penentuan air yang dapat hilang melalui saluran evaporasi permukaan tanah. (Asdak, 2004).

### **2.3. Konsep Dasar Penginderaan Jauh**

Menurut *Canadian Center of Remote Sensing* penginderaan jauh didefinisikan sebagai ilmu dan juga seni sampai pada luasan tertentu yang mempelajari bagaimana cara memperoleh informasi tentang suatu objek di permukaan bumi tanpa ada kontak langsung dengan objek tersebut. Perolehan informasi ini dilakukan dengan cara mengindera dan merekam energi dari suatu sumber energi yang terpantulkan atau terpancarkan oleh objek di permukaan bumi, untuk kemudian diproses, dianalisis dan diaplikasikan untuk kepentingan tertentu. Proses penginderaan jauh dapat disajikan pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Proses Penginderaan Jauh (Marjuki, 2010)

Dari Gambar 2 dan definisi di atas, dapat diambil beberapa kata kunci tentang penginderaan jauh, yaitu a. sumber energi, b. energi, c. objek di permukaan bumi, d. sensor/perekam, e. pemrosesan, f. analisis citra, dan g. aplikasi.

### 2.3.1. Sumber Energi

Untuk memperoleh data objek permukaan diperlukan tenaga. Salah satu tenaga yang digunakan untuk memperoleh data yang digunakan penginderaan jauh adalah tenaga matahari. Tenaga matahari yang memancar ke segala penjuru termasuk ke permukaan bumi memancar dalam bentuk tenaga elektromagnetik yang membentuk berbagai panjang gelombang. Radiasi matahari tersebut memancar ke permukaan bumi terhambat oleh atmosfer bumi, sehingga bagian radiasi sebagai tenaga tersebut dipantulkan kembali, dihamburkan, diserap dan diteruskan. Oleh karena itu tenaga yang berasal dari matahari yang sampai ke permukaan bumi hanya sebagian kecil dan atmosfer berfungsi sebagai filter dan penghambat masuknya radiasi matahari.

Menurut Soenarmo (2009), sumber energi matahari yang dipancarkan sesuai hukum radiasi benda hitam (*black body*) dengan temperatur  $6000^{\circ}\text{K}$  dan panjang gelombang berbeda-beda. Sumber energi radiasi matahari ada yang dapat ditangkap langsung secara alami, ada yang melalui penapisan untuk memperoleh panjang gelombang yang sesuai dengan sifat dan karakteristik objek.

### 2.3.2. Energi

Energi adalah gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari atau sumber energi buatan. Gelombang elektromagnetik dari matahari mempunyai karakteristik tertentu pada setiap setiap spektrum tertentu dari keseluruhan gelombang yang dipancarkan. Beberapa spektrum spektral dari gelombang elektromagnetik yang dipancarkan matahari dapat dimanfaatkan untuk penginderaan jauh, sedangkan sisanya terhamburkan atau terserap di atmosfer.

Energi yang dapat mencapai permukaan bumi melalui celah-celah atmosfer yang dikenal dengan jendela atmosfer. Jendela atmosfer terbentuk karena atmosfer yang terdiri dari unsur-unsur kimia mempunyai fungsi untuk menyerap. Lapisan atmosfer banyak mengandung O, O<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> (*Ozon*), N, H dan sebagainya. Jika unsur-unsur tersebut terisi oleh unsur C (karbon) akan menimbulkan senyawa kimia menjadi CO, CO<sub>2</sub>, CaCO<sub>3</sub>, debu dan sebagainya akan memberikan dampak terhadap perluasan jendela atmosfer.

### 2.3.3. Objek di Permukaan Bumi

Objek permukaan bumi merupakan objek yang akan diambil informasinya dalam penginderaan jauh. Setiap objek akan mempunyai respon (dalam bentuk perbedaan intensitas pantulan-serapan) yang berbeda terhadap energi gelombang elektromagnetik yang datang padanya. Selain itu, objek yang sama juga akan mempunyai respon berbeda terhadap spektrum yang berbeda. Oleh karena itu, variasi respon objek ini yang menjadi sasaran utama dilakukannya penginderaan jauh terhadap objek tersebut, yang kemudian informasi yang dihasilkan dari proses tersebut digunakan untuk berbagai aplikasi.

Tenaga yang masuk ke permukaan bumi dan mencapai objek, maka tenaga tersebut oleh objek sebagian dihamburkan, dipantulkan dan sebagian lagi diserap. Pada waktu suhu udara di atas permukaan bumi lebih rendah dibandingkan suhu objek, maka tenaga yang diserap oleh objek tersebut dikeluarkan kembali ke udara dalam bentuk tenaga pancar. Tenaga yang tepancar maupun terpantul oleh objek mempunyai perbedaan pantulan dan panjang gelombang, karena tiap objek dipermukaan bumi mempunyai perbedaan tingkat kekerasan, kandungan air, mineral dan sebagainya. Oleh karena perbedaan pantulan dan pancaran yang berbeda, maka tenaga tersebut bila direkam akan menunjukkan gambaran objek

yang berbeda. Untuk merekam tenaga tersebut perlu adanya suatu alat yang dapat merekam tenaga pantulan dan pancaran dari objek yang direkam. Pada dasarnya energi yang masuk ke permukaan bumi tidak seluruhnya sampai, tapi hanya sebagian kecil masuk ke permukaan bumi. Energi tersebut dihambat oleh atmosfer melalui serapan, pantulan dan transmisi (diteruskan).

#### 2.3.4. Sensor / Perekam

Sensor adalah materi yang sesuai dengan sifat fisik atau karakteristik objek atau target yang diindera. Oleh karena itu, tipe sensor sesuai dengan tipe gelombang elektromagnetik dan unik. Keunikan sensor jauh ini adalah adanya transformasi objek atau target melalui atau dengan perantara panjang gelombang elektromagnetik tertentu sehingga yang ditangkap oleh sensor adalah respon spectral atau *signature* spektral (Soenarmo, 2009).

Energi elektromagnet yang dipantulkan oleh objek di permukaan bumi kemudian dideteksi dan direkam oleh sensor yang dipasang pada suatu wahana (satelit, pesawat, balon udara dan wahana lainnya). Sensor – sensor penginderaan jauh mempunyai kapabilitas yang berbeda – beda sesuai dengan tujuan pengembangan dan aplikasinya. Sensor dapat dibedakan berdasarkan atas berbagai kriteria. Secara umum sensor penginderaan jauh dapat dibedakan menjadi dua yaitu fotografis dan elektronis. Keluaran dari sensor fotografis berupa foto (analog), sedangkan sensor elektronis berupa citra (digital). Setiap sensor baik fotografis maupun elektronis mempunyai kemampuan yang berbeda dalam merekam energi elektromagnetik yang datang padanya. Ada yang hanyamampu merekam pada spektrum spektral yang sangat lebar (bisa satu atau lebih spektrum). Sistem ini disebut pankromatik. Sedangkan sistem lain bisa merekam pada beberapa spektrum spektral (tiga spektrum atau lebih) yang disebut dengan sistem multispektral. Perkembangan dewasa ini sistem yang dikembangkan sudah ada yang dapat merekam sampai ratusan spektrum spektral (*band*). Sistem ini disebut hiperspektral. Dilihat dari jenis spektrum yang direkam, sensor dapat dibedakan menjadi sensor optis (bekerja pada spektrum *visible* sampai *short wave infrared*), sensor thermal (bekerja pada spektrum *mid infrared* sampai *far/thermal infrared*), dan sensor gelombang mikro (pasif) atau radar (aktif). Selain dari karakteristik spektral, sensor elektronis juga

dapat dibedakan berdasarkan kemampuan kedetilan dalam merekam permukaan bumi atau disebut dengan resolusi spasial, mulai dari resolusi rendah ( $> 500$  m), resolusi menengah ( $50$  m –  $500$  m) dan resolusi tinggi ( $< 50$  m).

### 2.3.5. Pemrosesan

Energi dideteksi dan ditangkap sensor, energi ini kemudian direkam dalam detektor, untuk kemudian diproses menjadi citra. Untuk sistem fotografi, detektor berupa film yang nanti kemudian dicetak menjadi foto. Sedangkan untuk sistem elektronis/digital, data yang terekam dikirim ke stasiun penerima di bumi untuk kemudian diproses menjadi citra digital. Level pemrosesan pada setiap jenis produk citra dapat saja berbeda antara satu pengelola layanan citra (vendor) satu dan lainnya. Untuk citra Landsat misalnya, produk dijual dalam berbagai level pemrosesan mulai dari Level 0 (data mentah), level 1R (terkoreksi radiometrik), level 1G (terkoreksi radiometrik dan geometrik) sampai level 1T (terkoreksi medan) (Marjuki, 2010).

### 2.3.6. Analisis citra

Analisis citra adalah tahapan kerja (metode) yang diaplikasikan pada suatu citra agar dapat diambil suatu informasi dari citra tersebut (ekstraksi informasi dari citra). Terdapat dua jenis metode ekstraksi informasi dari citra satelit, yaitu manual (visual) dan analisis digital terotomasi dengan bantuan komputer. Ekstraksi informasi secara manual atau dikenal dengan interpretasi visual dilakukan melalui beberapa tahapan kerja yang dimulai dari deteksi objek, indentifikasi objek, deduksi objek, analisis, klasifikasi dan idealisasi (Verstappen, 1977). Deteksi objek adalah pengamatan suatu objek (target) pada citra yang nampak khas dan berbeda dengan latar belakangnya. Pada tahap identifikasi, objek tersebut berusaha diidentifikasi karakteristiknya, Identifikasi ini mendasarkan pada enam kunci interpretasi citra yang meliputi bentuk (*shape*), rona/warna (*tone/color*), ukuran (*size*), pola (*pattern*), tekstur (*texture*), bayangan (*shadow*) dan asosiasi (*association*). Setelah diketahui karakteristik objek tersebut dari hasil identifikasi menggunakan enam kunci interpretasi, pada tahap deduksi disimpulkan objek tersebut merupakan objek apa. Setelah tahap deduksi kemudian baru dilakukan analisis (identifikasi sebaran objek), klasifikasi



(deliniasi objek yang sama) dan idealisasi (penyajian dalam bentuk peta). Ekstraksi secara digital menggunakan pendekatan yang berbeda dengan ekstraksi visual. Disini segala pekerjaan mulai dari identifikasi sampai klasifikasi dilakukan oleh komputer secara otomatis. Operator biasanya hanya perlu memasukkan nilai - nilai parameter statistik yang akan menjadi dasar komputer dalam menganalisis. Analisis digital juga memasukkan beberapa tahap pra pemrosesan sebelum citra dianalisis seperti misalnya koreksi radiometrik, koreksi geometrik, *image enhancement*, dan transformasi citra.

### 2.3.7. Aplikasi

Informasi tematik yang diturunkan dari analisis citra penginderaan jauh dapat dimanfaatkan di berbagai bidang, misalnya dalam bidang geologi penginderaan jauh digunakan untuk perkiraan potensi daerah rawan bencana, pemantauan sumberdaya alam, pemantauan pencemaran laut dan lain sebagainya. Dalam bidang meteorologi dan klimatologi digunakan untuk analisis cuaca, mengetahui sistem atau pola angin permukaan serta pengamatan iklim pada suatu daerah. Pemanfaatan penginderaan jauh dalam bidang hidrologi digunakan untuk pemetaan sungai dan sedimentasi sungai, pemanfaatan daerah aliran sungai dan konservasi sungai serta pemanfaatan luas daerah dan intensitas banjir. Dalam bidang pertanian dimanfaatkan untuk analisis perubahan penggunaan lahan, prediksi kekeringan lahan, estimasi sebaran bahan organik tanah dan masih banyak lagi. Selain dimanfaatkan dalam bidang geologi, meteorologi dan klimatologi, hidrologi dan pertanian, penginderaan jauh dimanfaatkan dalam bidang kehutanan, perencanaan wilayah, pertambangan dan geografi (Marjuki, 2010).

## 2.4. Citra Landsat 8 OLI/TIRS

Satelit Landsat-8 pertama kali diluncurkan pada tanggal 11 Februari 2013 dengan sensor OLI (*Operational Land Imager*) dan TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). Landsat 8 OLI terdiri dari 9 band *spectral* dengan resolusi 30 meter untuk band 1 sampai 7 dan band 9. Sedangkan untuk band 8 (*panchromatic*) mempunyai resolusi 15 meter. Landsat 8 TIRS terdiri dari 2 band *thermal* dengan

resolusi 100 meter (ESRI, 2014). Spesifikasi dan karakteristi *band* pada citra Landsat 8 OLI/TIRS disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Karakteristik *band* pada Citra Landsat 8 OLI/TIRS (ESRI, 2014)

Band Spektral	Resolusi	Panjang Gelombang	Kegunaan
Band 1 - <i>Coastal/Aerosol</i>	30 m	0,433 - 0,453 $\mu\text{m}$	Mempelajari tentang pesisir dan aerosol
Band 2 - <i>Blue</i>	30 m	0,450 - 0,515 $\mu\text{m}$	Penetrasi tubuh air, analisis penggunaan lahan, tanah dan vegetasi.
Band 3 - <i>Green</i>	30 m	0,525 - 0,600 $\mu\text{m}$	Pengamatan puncak pantulan vegetasi pada saluran hijau yang terletak diantara dua saluran penyerapan untuk membedakan tanaman sehat dan tanaman tidak sehat.
Band 4 - <i>Red</i>	30 m	0,630 - 0,680 $\mu\text{m}$	Membedakan antara vegetasi dengan non vegetasi.
Band 5 - <i>Near Infrared (NIR)</i>	30 m	0,845 - 0,885 $\mu\text{m}$	Peka terhadap biomassa vegetasi, lahan, serta air.
Band 6 - <i>Shortwave Infrared (SWIR) 1</i>	30 m	1,560 - 1,660 $\mu\text{m}$	Membedakan kadar air tanah, vegetasi dan dapat menembus awan tipis.
Band 7 - <i>Shortwave Infrared (SWIR) 2</i>	30 m	2,100 - 2,300 $\mu\text{m}$	Peningkatan kadar air tanah, vegetasi dan penetrasi awan tipis.
Band 8 - <i>Panchromatic</i>	15 m	0,500 - 0,680 $\mu\text{m}$	Resolusi 15 meter dengan gambar yang lebih tajam, studi kota, penajaman batas linier dan analisis tata ruang.
Band 9 - <i>Cirrus</i>	30 m	1,360 - 1,390 $\mu\text{m}$	Mendeteksi peningkatan kontaminasi dari awan cirrus.
Band 10 - <i>Thermal Infrared (TIRS) 1</i>	100 m	10,30 - 11,30 $\mu\text{m}$	Resolusi 100 meter untuk pemetaan termal dan memperkirakan kelembapan tanah.
Band 11 - <i>Thermal Infrared (TIRS) 2</i>	100 m	11,50 - 12,50 $\mu\text{m}$	Resolusi 100 meter untuk memetakan peningkatan termal dan memperkirakan kelembapan tanah.

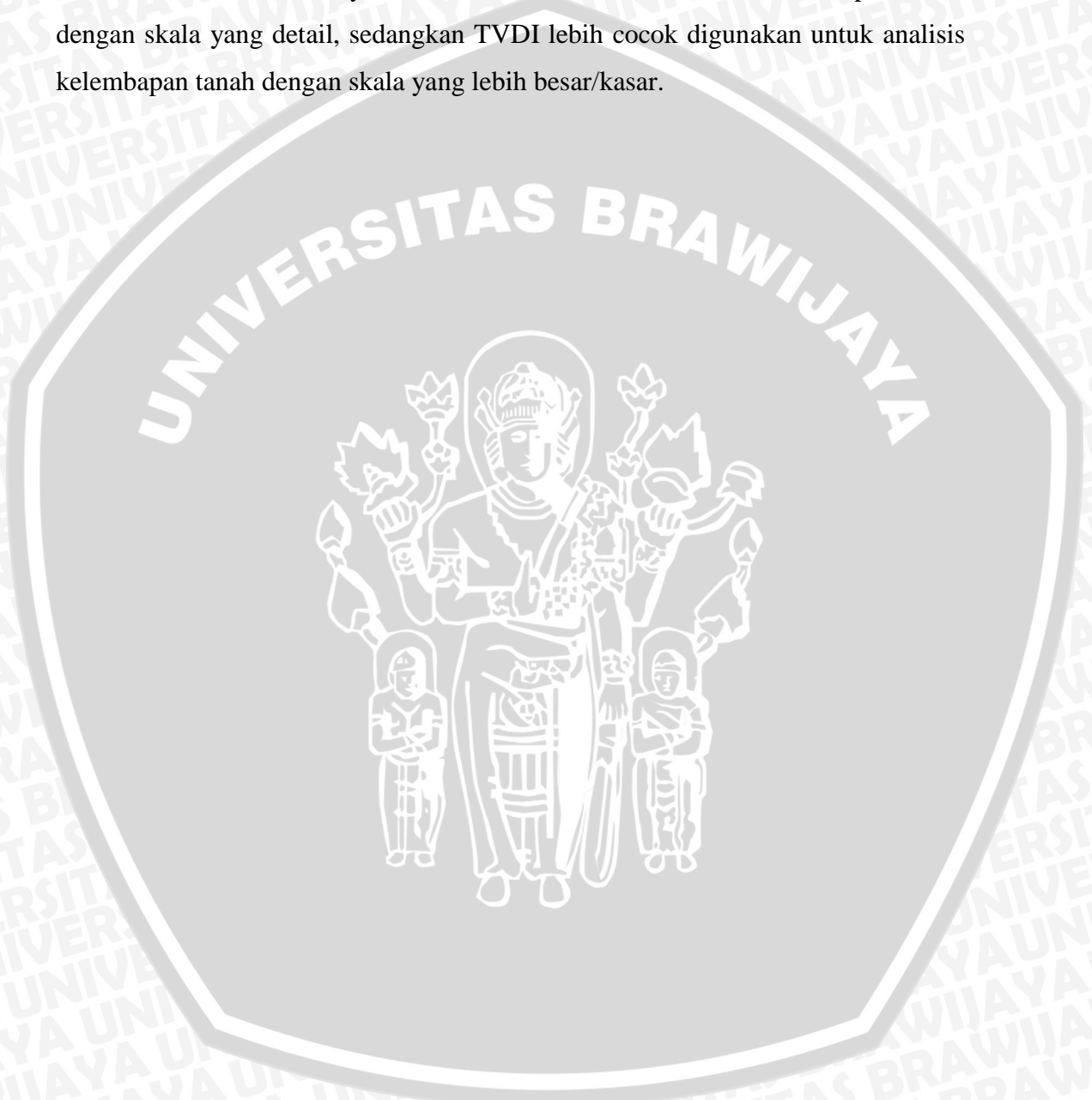
### 2.5. Penginderaan Jauh untuk Analisis Kadar Air Tanah

Estimasi kadar air tanah menggunakan teknologi penginderaan jauh telah banyak dilakukan. Berbagai metode untuk menentukan tingkat kadar air tanah menggunakan data satelit telah berkembang luas dan memiliki validitas yang tinggi. Disamping itu, secara signifikan dapat menghemat waktu dan biaya dan dapat dilakukan secara terus-menerus tidak terbatas pada waktu dan tempat.

Penelitian yang dilakukan oleh Kendaro (2004) dengan cara membandingkan peta karakteristik lahan dengan input peta hasil analisis citra dan

indeks topografi dalam menduga kadar air dalam tanah. Analisis spasial yang digunakan adalah transformasi *Tasselcap*, untuk mendapatkan nilai indeks kelembapannya. Kemudian digabungkan dengan indeks topografi untuk menentukan nilai kapasitas simpan air. Indeks topografinya diperoleh dengan data DEM (*Digital Elevation Model*). Adiningsih (2004) menggunakan penerapan analisis komponen utama (PCA) dalam pemodelan penduga lengas tanah menggunakan data satelit multispektral. Citra yang digunakan adalah NOAA-AVHRR harian. Komponen utama pertama yang digunakan adalah indeks kecerahan tanah, yang kedua adalah indeks kehijauan, dan yang ketiga adalah indeks kelembapan tanah. Diantara ketiga komponen tersebut indeks kecerahan tanah merupakan parameter penduga lengas tanah yang terbaik dari ketiga komponen tadi. Sedangkan Dirgahayu (2006) menggunakan data MODIS untuk memantau kondisi kelengasan lahan pertanian. Metode yang digunakan adalah Indeks Kelengasan Lahan (IKL) yang telah dibuat berdasarkan hasil transformasi komponen utama pertama dari NDSI, NDVI, dan NDWI. Zeng Yongnia *et al.* (2004) menggunakan data suhu permukaan dan indeks vegetasi (NDVI) untuk mendeteksi kelembapan tanah dengan menggunakan citra Landsat ETM+. Setiadi (2009) menggunakan citra Aster untuk mendeteksi indeks kelengasan lahan. Hasil dari regresi nonlinear antara indeks lahan (NDSI, NDVI, dan NDWI) dengan lengas lahan dihasilkan  $R^2$  yang tidak terlalu signifikan, yaitu sebesar 0,56. Nilai NDVI mempunyai korelasi positif terhadap tingkat kadar air tanah. Sedangkan nilai NDSI dan NDWI mempunyai korelasi negatif. NDVI mempunyai korelasi positif karena tingkat kadar air tanah meningkat seiring dengan meningkatnya tutupan vegetasi. Nilai NDSI dan NDWI mempunyai korelasi negatif disebabkan oleh berbedanya waktu dalam pengambilan contoh kadar air tanah di lapangan dengan waktu liputan citra. Adiwicaksono (2013) menggunakan indeks lahan NDSI, NDVI, dan NDWI dengan kadar air tanah yang akhirnya memperoleh persamaan  $y = 62,28 e^{-0.02x}$  dengan koefisien determinasi  $R^2$  sebesar 0,56. Nilai NDVI dan NDWI mempunyai nilai korelasi positif terhadap tingkat kenaikan kadar air tanah. Sedangkan nilai NDSI mempunyai korelasi yang negatif. Lewis (2010) menghubungkan antara data SWIR dengan kadar air tanah dan memperoleh nilai  $R^2 = 0,71$ . Panjang gelombang yang sesuai dengan model

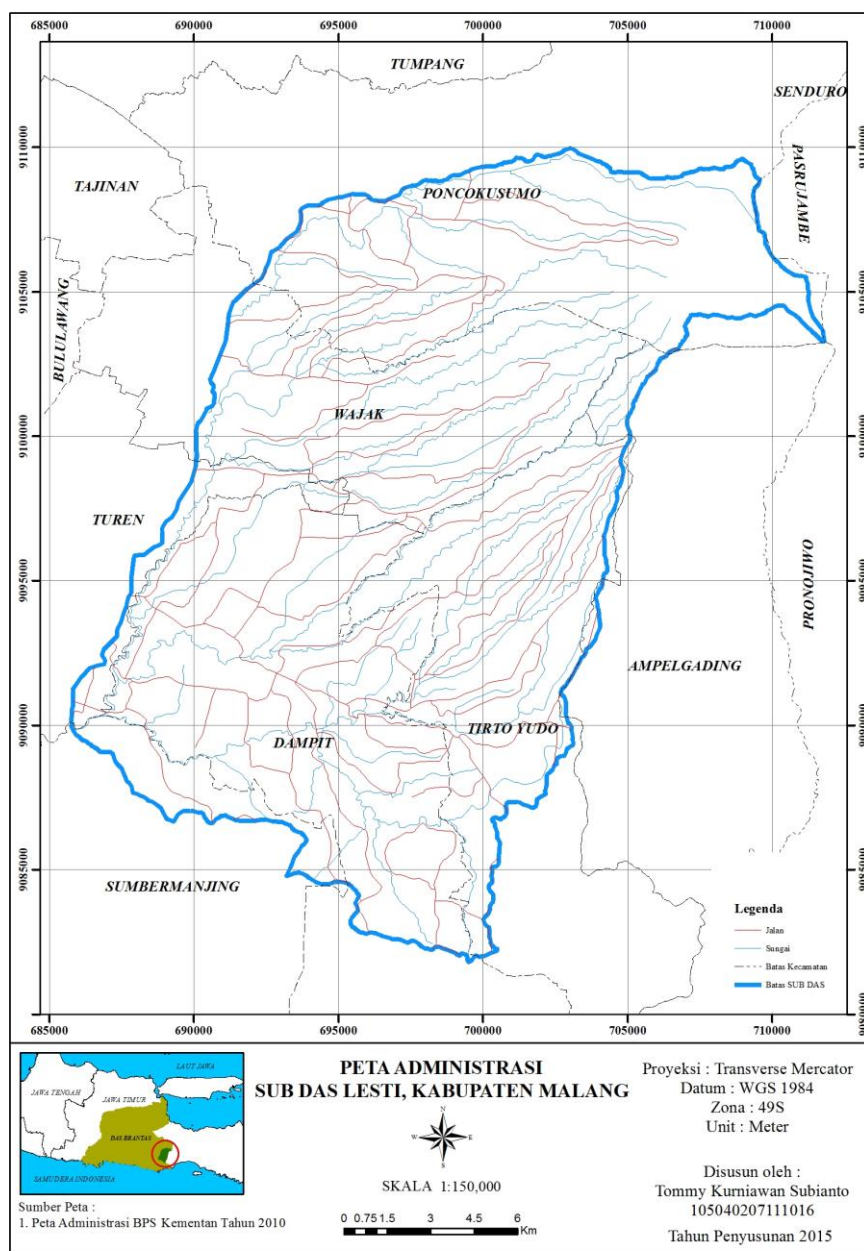
memperoleh nilai antara 1300 sampai 1550 nm. Data itu mempunyai kapabilitas untuk mendeteksi kelembapan tanah pada kedalaman 8 dan 12 inch. Pada kedalaman 8 inch memperoleh nilai  $R^2 = 0,75$  dan pada kedalaman 12 inch memperoleh nilai  $R^2 = 0,62$ . Haas (2010) menggunakan model dengan data TWI, TVDI, dan NDVI. Hasilnya TWI lebih cocok untuk analisis kelembapan tanah dengan skala yang detail, sedangkan TVDI lebih cocok digunakan untuk analisis kelembapan tanah dengan skala yang lebih besar/kasar.



### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1. Tempat dan Waktu

Penelitian dilaksanakan di Sub DAS Lesti, Kabupaten Malang Provinsi Jawa Timur. Analisis kadar air tanah dilaksanakan di Laboratorium Fisika Tanah Jurusan Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya. Penelitian dilaksanakan pada bulan September sampai Oktober 2014.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

### 3.2. Alat dan Bahan

#### 3.2.1. Alat

Penelitian ini menggunakan alat untuk kegiatan survei di lapangan meliputi GPS (*Global Positioning System*), kamera, alat tulis, dan ring *sample* (digunakan untuk mengambil contoh tanah). Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan adalah Laptop (AMD C-50 Dual Core Processor 1,0 GHz, 4 Gb RAM) yang berfungsi untuk mengolah bahan, data, dan pembuatan laporan. Sedangkan perangkat lunak (*software*) yang digunakan adalah PCI Geomatica 2014 berfungsi untuk klasifikasi citra satelit, koreksi geometrik dan radiometrik citra. ArcGIS 10.1 dan Global Mapper 14 digunakan untuk mengolah data spasial. Minitab versi 14 digunakan untuk analisis statistik.

#### 3.2.2. Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah peta batas DAS Lesti, Kabupaten Malang. Peta Administrasi Kabupaten Malang yang digunakan untuk mengetahui daerah penelitian. Citra Landsat 8 OLI/TIRS *path/row* 118/066 peliputan bulan September tahun 2014 yang digunakan untuk estimasi kadar air tanah dan analisis penggunaan lahan. Data curah hujan tahunan dan data kadar air tanah hasil pengukuran lapangan.

### 3.3. Metode Penelitian

Secara umum metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini adalah melakukan pendekatan menggunakan analisis statistik regresi berganda, integrasi data, dan analisis secara spasial untuk menentukan model estimasi kadar air tanah di DAS Lesti, Kabupaten Malang.

### 3.4. Tahapan Penelitian

#### 3.4.1. Persiapan

Pada tahap persiapan dimulai dari studi pustaka, penyiapan alat dan bahan. Data sekunder didapatkan dari hasil pengolahan citra satelit Landsat 8 OLI/TIRS antara lain NDVI, NDWI, NDSI, pengambilan *digital number*, dan klasifikasi penggunaan lahan menggunakan hirarki. Data primer didapatkan dari hasil survei

lapangan yang meliputi pengambilan contoh tanah pada beberapa titik pengamatan yang sudah ditentukan.

### 3.4.2. Pre-Processing Citra Satelit Digital Landsat 8 OLI/TIRS

#### a. Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik dilakukan dengan mengasosiasikan piksel pada citra satelit dengan lokasi sebenarnya di permukaan bumi. Pada penerapannya, lokasi tersebut ini biasanya dilambangkan oleh titik yang diukur langsung pada objek tertentu yang mudah dikenali pada citra misalnya, persimpangan jalan, percabangan sungai, dan lain-lain. Titik koreksi ini dikenal dengan sebutan titik kontrol lapangan (*ground control point/GCP*). Setiap GCP akan mengasosiasikan satu posisi pada citra satelit dengan posisi sebenarnya di permukaan bumi. Terdapat dua metode koreksi geometrik dari citra ke peta dan koreksi geometrik dari citra ke citra. Perbedaan mendasar dari dua metode ini adalah sumber informasi yang digunakan untuk menghasilkan GCP. Pada koreksi geometrik dari citra ke peta, GCP dihasilkan dari peta yang memiliki koordinat. Sedangkan pada metode koreksi citra ke citra, GCP dihasilkan dari citra satelit lain yang terkoreksi (Ekadinata *et al.*, 2008).

#### b. Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik adalah proses untuk meniadakan gangguan (*noise*) yang terjadi akibat pengaruh atmosferik maupun karena pengaruh sistemik perekaman citra. Data Landsat 8 OLI dikoreksi menggunakan koreksi ToA yang meliputi ToA reflektansi dan koreksi matahari. Koreksi ToA Reflektansi dilakukan dengan mengkonversi nilai DN (*Digital Number*) ke nilai reflektansi. Persamaan konversi untuk koreksi ToA reflektansi dapat disajikan pada persamaan 1 (USGS, 2014).

$$\rho_{\lambda}' = M_{\rho} Q_{cat} + A_{\rho}$$

(Persamaan 1)

Dimana :

$\rho_{\lambda}'$  = TOA *reflectance*, tanpa koreksi untuk sudut matahari

$M_{\rho}$  = Nilai *multiplicative* band yang digunakan didapatkan dari metadata citra  
(*REFLECTANCE\_MULT\_BAND\_x*, x adalah band yang digunakan)

$\rho_p$  = Nilai *additive* band yang digunakan didapatkan dari metadata citra  
(*REFLECTANCE\_ADD\_BAND\_x*, x adalah band yang digunakan)

$Q_{cat}$  = Nilai digital (DN) band yang digunakan

Selanjutnya citra dikoreksi sudut matahari untuk menghilangkan perbedaan nilai DN yang diakibatkan oleh posisi matahari. Posisi matahari terhadap bumi berubah bergantung pada waktu perekaman dan lokasi objek yang direkam. Persamaan 2 digunakan untuk koreksi dengan sudut matahari.

$$\rho_{\lambda} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho_{\lambda}'}{\sin(\theta_{SE})}$$

(Persamaan 2)

Dimana :

$\rho_{\lambda}$  = TOA *reflektance*

$\theta_{SE}$  = Ketinggian matahari (*SUN\_ELEVATION*)

$\theta_{SZ}$  = sudut zenith matahari,  $\theta_{SZ} = 90^{\circ} - \theta_{SE}$

### 3.4.3. Pengambilan *Digital Number* pada Citra Satelit

Proses pengambilan *digital number* pada citra dilakukan dengan menggunakan *software* ArcGIS 10.1 pada setiap *band* citra satelit. Untuk mengetahui nilai *digital number* pada citra satelit dapat menggunakan *tool identity* pada ArcGIS. *Band* yang digunakan adalah *band* 1 sampai 9. Pengambilan *digital number* ini berdasarkan pada titik pengambilan contoh tanah. Pengambilan *digital number* juga dilakukan pada hasil NDVI, NDSI dan NDWI.

#### a. NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*)

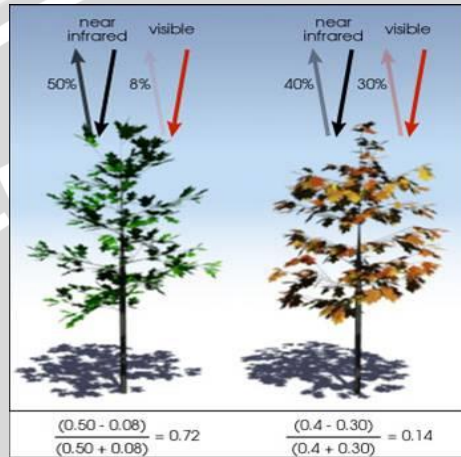
Indeks vegetasi merupakan nilai yang diperoleh dari gabungan beberapa spektral band spesifik dari citra penginderaan jauh. Salah satu metode perhitungan indeks vegetasi yang umum digunakan adalah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*). NDVI diperoleh berdasarkan perbandingan antara pantulan sinar merah dan infra merah dekat dari spektrum elektromagnetik. Kedua spektrum ini dipilih karena mempunyai kemampuan lebih dalam menyerap klorofil dan kepadatan vegetasi. Selain itu, pada *band* sinar merah dan infra merah dekat, vegetasi dan non-vegetasi dapat dibedakan secara jelas. Ilustrasi



mekanisme NDVI disajikan pada Gambar 4, sedangkan perhitungan NDVI menggunakan Persamaan 3.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

(Persamaan 3)



**Gambar 4.** Mekanisme NDVI pada Tanaman (Harjadi, 2010)

Nilai NDVI berkisar antara -1 hingga +1. Nilai NDVI yang rendah (negative) menunjukkan tingkat vegetasi yang rendah seperti awan, air, tanah kosong, bangunan, dan unsur non-vegetasi lainnya. Sedangkan nilai NDVI yang tinggi (positif) menunjukkan tingkat vegetasi hijau yang tinggi. Secara rinci kelas kerapatan vegetasi disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Kelas Kerapatan Vegetasi (Harjadi, 2010)

No	Kelas NDVI	Keterangan
1	-1 – 0,1	Lahan Terbuka
2	0,1 – 0,3	Vegetasi Jarang
3	0,3 – 0,5	Vegetasi Sedang
4	0,5 – 0,7	Vegetasi Rapat
5	0,7 – 1	Rimbun

**b. NDWI (Normalized Difference Water Index)**

Ekstraksi tubuh air dengan menggunakan penginderaan jauh telah menjadi metode yang paling penting dalam penyelidikan sumber daya air,

penilaian prediksi bencana banjir dan perencanaan air dengan efektivitas yang cepat dan akurat. NDWI telah digunakan untuk mencapai tujuan memisahkan fitur air dan non-air (Ho *et al.*, 2010). Ada beberapa rumus NDWI yang menggabungkan pasangan yang berbeda dari *band-band* dari Landsat TM atau ETM+. Gao (1996) menggunakan gelombang inframerah dekat (NIR) dan gelombang inframerah pendek. Formula NDWI disajikan pada persamaan 4.

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$$

(Persamaan 4)

**c. NDSI (Normalized Difference Soil Index)**

NDSI merupakan salah satu indeks dalam pengolahan citra satelit yang dipergunakan untuk menunjukkan kenampakan dari tanah saja. NDSI dihitung dari panjang gelombang sinar infra merah bergelombang pendek dikurangi infra merah dekat dibagi sinar infra merah bergelombang pendek ditambah infra merah dekat (Dirgahayu, 2006). Rumus NDSI disajikan pada persamaan 5.

$$NDSI = \frac{SWIR - NIR}{SWIR + NIR}$$

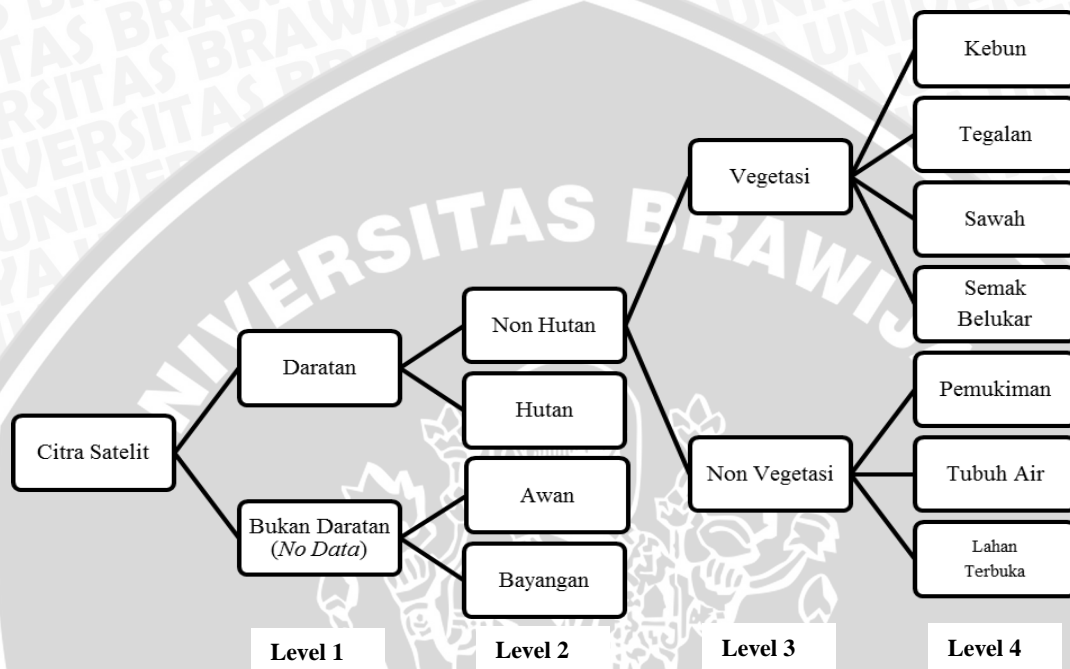
(Persamaan 5)

Dimana NIR merupakan sinar infra merah dekat dan SWIR merupakan sinar infra merah bergelombang pendek. Pada persamaan ini juga didapatkan nilai -1 hingga +1 dimana nilai (+) menunjukkan tanah terbuka sedangkan nilai (-) menunjukkan semakin tertutupnya tanah. Pada umumnya nilai  $NDSI \geq 0,3$  menunjukkan lahan yang tanahnya cukup terbuka hingga terbuka penuh.

#### 3.4.4. Klasifikasi Citra Satelit

Klasifikasi citra ini menggunakan metode klasifikasi hirarki (*Hierarchical Classification*). Metode ini digunakan untuk menginterpretasikan citra menggunakan data spektral dan juga melalui informasi spasial dari objek pada citra seperti, tekstur, bentuk, dan lain-lain (Riza, 2010). Dalam klasifikasi hirarki ini terdapat beberapa level yang menunjukkan penggunaan lahan leih detail. Level pertama membedakan antara daratan dengan bukan daratan (*no data*). Kelas

daratan dibagi atas hutan dan non hutan, sedangkan kelas bukan daratan dibagi atas awan dan bayangan. Level ketiga dibagi atas vegetasi dan non vegetasi. Untuk kelas vegetasi dibagi atas kebun, tegalan, sawah, dan semak belukar. Sedangkan untuk kelas non vegetasi dibagi atas pemukiman, tubuh air, dan lahan kosong. Bagan klasifikasi hirarki ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Bagan Klasifikasi Hirarki (Rozali, 2011)

### 3.4.5. Survei

Survei dilakukan untuk melihat kondisi di lapangan secara langsung yang meliputi penggunaan lahan, jenis vegetasi, serta pengambilan contoh tanah. Titik pengamatan berdasarkan perbedaan bentuk lahan. Dari setiap perbedaan bentuk lahan tersebut diambil 1 titik pengamatan primer dan 1 titik pengamatan untuk validasi. Alat yang digunakan adalah GPS (*Global Positioning System*) yang berfungsi untuk navigasi dan penentuan titik pengamatan, ring *sample* digunakan untuk mengambil contoh tanah, kamera digunakan untuk dokumentasi titik pengamatan, serta alat tulis untuk mencatat. Bahan yang diperlukan adalah peta administrasi wilayah Sub DAS Lesti, Kabupaten Malang.

Kegiatan yang dilakukan selama survei yaitu, pengambilan contoh tanah, validasi mengenai penggunaan lahan, serta mengecek kadar air tanah. Hasil dari

survei ini nantinya akan divalidasikan dengan hasil pendugaan sementara penggunaan lahan dan kadar air tanah dari citra.

#### 3.4.6. Analisis Kadar Air Tanah

Analisis kadar air tanah dilakukan di Laboratorium Fisika Tanah, menggunakan metode gravimetri. Prosedur yang dilakukan adalah dengan menimbang contoh tanah dari ring kemudian di oven selama 24 jam dengan suhu 110° C, setelah itu ditimbang kembali berat tanahnya. Untuk menghitung kadar air tanah digunakan persamaan 6.

$$KA = \frac{BB - BK}{BK} \times 100 \%$$

(Persamaan 6)

Keterangan :

BB = Berat basah tanah

BK = Berat kering tanah oven

#### 3.4.7. Accuracy Assessment

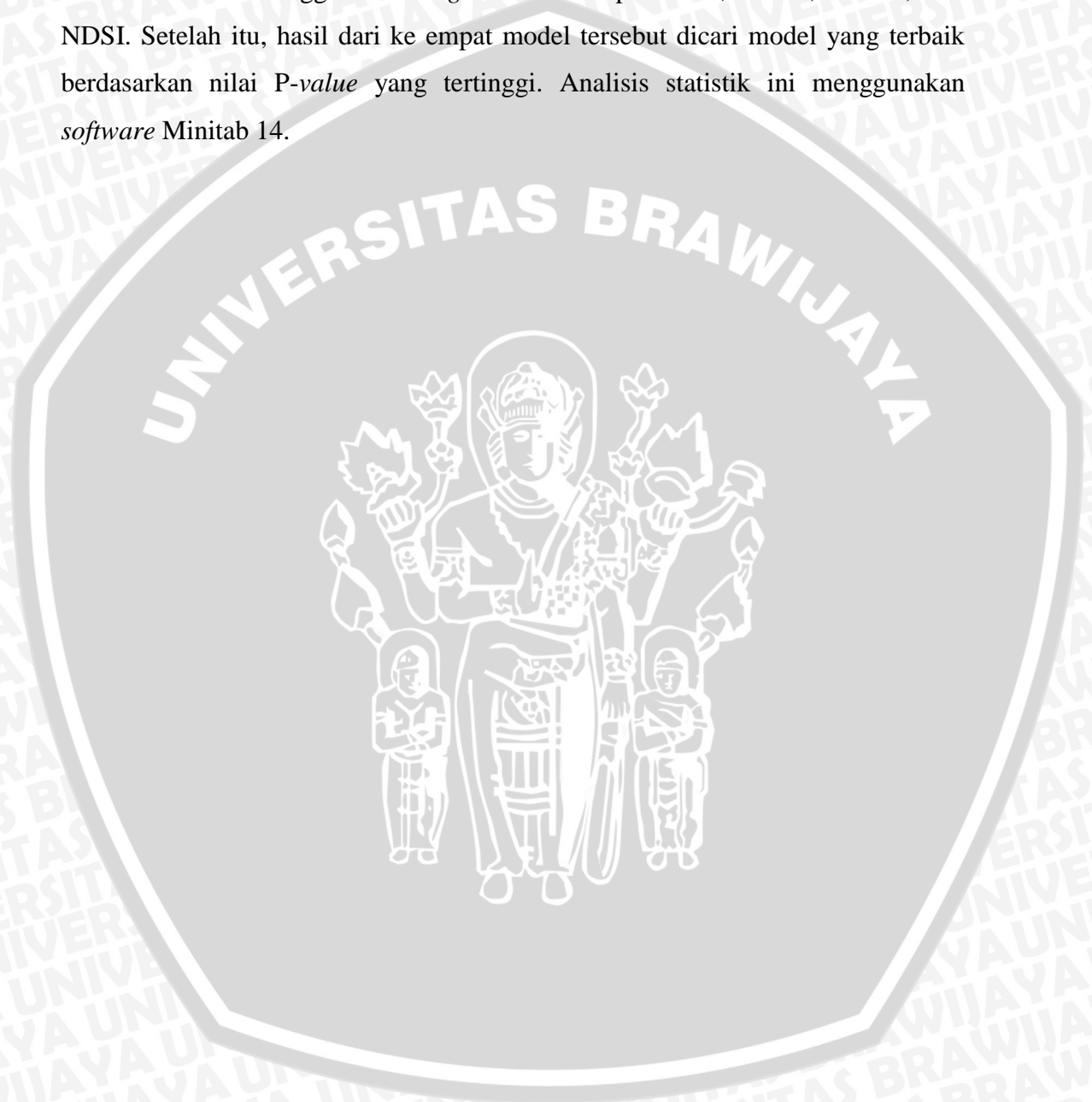
*Accuracy assessment* dilakukan untuk mengetahui tingkat akurasi antara hasil pendugaan sementara kadar air tanah pada citra dengan kadar air tanah hasil di lapangan. Dengan demikian, dapat diketahui tingkat keakuratan nilai kadar air tanah hasil pendugaan sementara. *Accuracy assessment* juga digunakan untuk uji validasi penggunaan lahan.

#### 3.4.8. Analisis Statistik

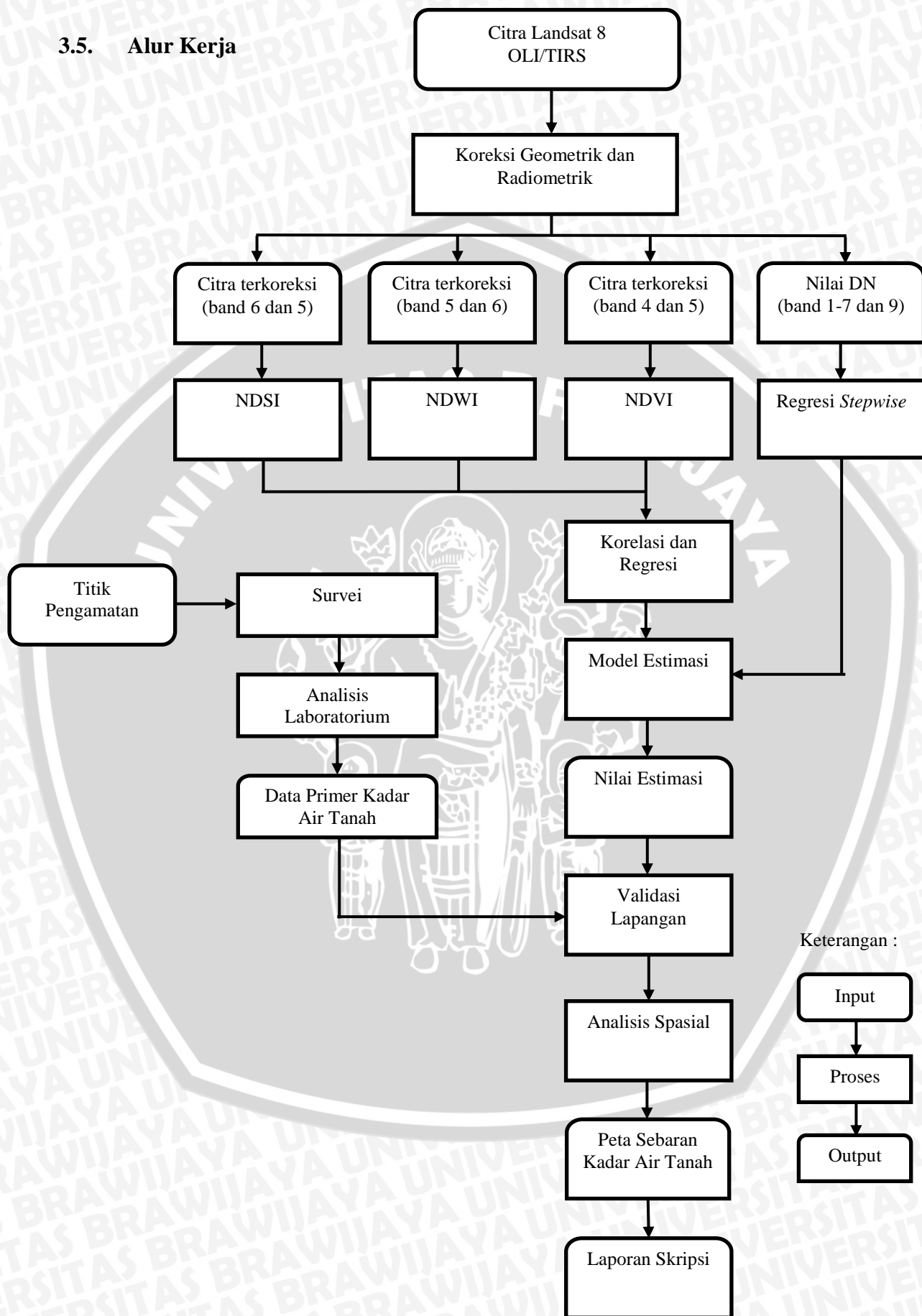
Analisis statistik digunakan untuk mencari persamaan model estimasi kadar air tanah yang nantinya digunakan untuk membuat peta sebaran estimasi. Selain itu, analisis statistik juga digunakan untuk mencari keeratan hubungan antara kadar air tanah hasil estimasi dan pengukuran di lapangan.

Analisis yang digunakan adalah analisis regresi berganda dengan metode *stepwise* dan korelasi serta regresi linear. Metode *stepwise* digunakan untuk mencari *band* terbaik yang mampu mengestimasi sebaran nilai kadar air tanah berdasarkan *Digital Number* (DN). Untuk analisis korelasi digunakan untuk

membandingkan antara nilai kadar air tanah hasil lapangan dengan nilai dari NDVI, NDWI dan NDSI. Jika hasil dari lapangan dan hasil NDVI, NDWI, dan NDSI berkorelasi, maka dilakukann uji regresi Kemudian dilakukan uji t-berpasangan antara kadar air tanah hasil dari laboratorium dengan hasil estimasi kadar air tanah menggunakan *Digital Number per band*, NDVI, NDWI, dan NDSI. Setelah itu, hasil dari ke empat model tersebut dicari model yang terbaik berdasarkan nilai *P-value* yang tertinggi. Analisis statistik ini menggunakan *software* Minitab 14.



3.5. Alur Kerja



Gambar 6. Alur Kerja Penelitian

## IV. KONDISI UMUM WILAYAH

### 4.1. Lokasi

Sub Das Lesti merupakan wilayah yang terletak pada posisi 08°03'10" - 08°04'2" Lintang Selatan dan 112°41'7" BT - 112°49'7" Bujur Timur. Batas administrasi sebelah utara yaitu Kecamatan Tumpang, sebelah timur yaitu Kecamatan Ampelgading, sebelah selatan yaitu Kecamatan Sumbermanjing, dan sebelah barat yaitu Kecamatan Turen dan Kecamatan Bululawang.

Pembagian wilayah sub Das Lesti terdiri dari 7 kecamatan dan 53 desa. Ketujuh kecamatan tersebut adalah Kecamatan Ampelgading dengan luas 536 ha, Kecamatan Dampit dengan luas 11.249 ha, Kecamatan Poncokusumo dengan luas 9.166 ha, Kecamatan Sumbermanjing dengan luas 1.350 ha, Kecamatan Tirto Yudo dengan luas 7.298 ha, Kecamatan Turen dengan luas 1.184 ha, dan Kecamatan Wajak dengan luas 7.345 ha.

### 4.2. Geologi

Wilayah Sub Das Lesti berdasarkan Peta Geologi Lembar Turen sheet 1607-4 yang tersusun atas 10 satuan geologi yaitu, 1). Qvj endapan gunung api jembangan, 2). Qvs endapan gunung api semeru, 3). Qlks lava parasit kepolo semeru, 4). Qvt endapan gunung api tengger, 5). Qptm endapan tuf gunung api, 6). Tomm formasi mandalika, 7). Tmw formasi wuni, 8). Tmn formasi nampol, 9). Tmwl formasi wonosari, dan 10). Qpvb endapan gunung api burung. Luasan struktur geologi wilayah Sub Das Lesti disajikan pada Tabel 3, sedangkan untuk peta sebaran satuan geologinya disajikan pada Gambar 7.

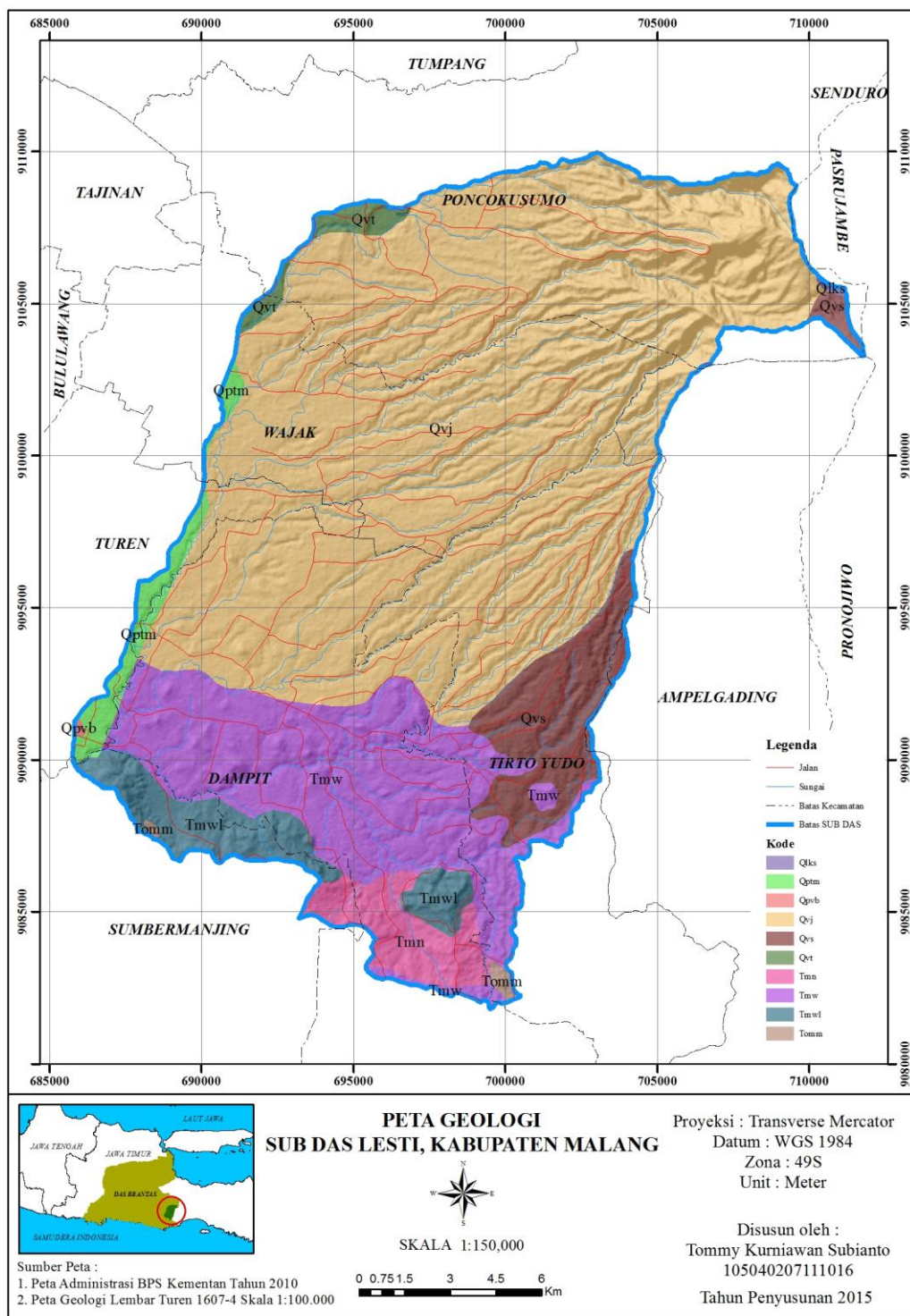
Satuan geologi di wilayah Sub Das Lesti diperoleh dari peta Geologi Lembar Turen. Berikut merupakan uraian dari satuan geologi Qvj, Qvs, Qlks, Qvt, Qptm, Tomm, Tmw, Tmn, Tmwl, dan Qpvb. Endapan Gunung Api Jembangan (Qvj), merupakan satuan geologi yang terbentuk dari lava basal olivin, piroksen, tuf, tuf pasir dan pasir serta diperkirakan berumur kuartar. Luasan dari struktur geologi ini mendominasi di kawasan Sub Das Lesti yakni sebesar 25.199 ha atau sekitar 66,09 % dari total keseluruhan wilayah Sub Das Lesti. Endapan Gunung Api Semeru (Qvs), terbentuk dari lava andesit sampai basal, klastik gunung api dan lahar serta berumur kuartar. Luas dari struktur geologi ini sebesar 2.310 ha atau 6,06 % dari total luas wilayah Sub Das Lesti. Lava Parasit Kepolo - Semeru

**Tabel 3.** Luas Geologi Sub Das Lesti

No	Kode	Jenis Bahan	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	25.199	66,09
2	Qvs	Endapan Gunung Api Semeru	2.310	6,06
3	Qlks	Lava Parasit Kepolo Semeru	25	0,07
4	Qvt	Endapan Gunung Api Tengger	383	1,00
5	Qptm	Endapan Tuf Gunung Api	739	1,94
6	Tomm	Formasi Mandalika	86	0,23
7	Tmw	Formasi Wuni	6.556	17,19
8	Tmn	Formasi Nampol	1.186	3,11
9	Tmwl	Formasi Wonosari	1.630	4,27
10	Qpvb	Endapan Gunung Api Buring	17	0,04

(Qlks), terbentuk dari lava andesit hipersten augit serta berumur kuarter. Sebarannya terletak di lereng bagian utara gunung semeru yang berbatasan dengan gunung kepolo, dan terdapat di lereng bagian tenggara gunung semeru. Luas dari struktur geologi ini sebesar 25 ha atau 0,07 % dari total luas wilayah Sub Das Lesti. Endapan Gunung Api Tengger (Qvt), terbentuk dari lava andesit piroksen dan basal olivin dan piroklastik serta berumur kuarter. Sebarannya ke arah selatan menutupi lereng utara kaldera gunung jembangan dan kemungkinan terdapat di bagian dalam kaldera tersebut. Luas dari struktur geologi ini sebesar 383 ha atau 1 % dari total luas wilayah Sub Das Lesti. Endapan Tuf Gunung Api (Qptm), terbentuk dari tuf kasar sampai halus, berbatu apung dan fragmen andesit serta berumur kuarter. Luas dari stuktur geologi ini sebesar 739 ha atau 1,94 % dari total luas wilayah Sub Das Lesti. Formasi Mandalika (Tomm), terbentuk dari lava andesit, basal, trakit, dasit, dan breksi andesit terpropiltkan serta berumur tersier akhir. Luas dari struktur geologi ini sebesar 86 ha atau sekitar 0,23 ha dari total luas wilayah Sub Das Lesti. Fomasi Wuni (Tmw), terbentuk dari breksi dan lava andesit sampai basal, breksi tuf, breksi lahar dan tuf pasiran sera berumur miosen tengah. Luas struktur geologi ini sebesar 6.556 ha atau sebesar 17,19 % dari total luas wilayah Sub Das Lesti. Formasi Nampol (Tmn), terbentuk dari batu pasir tufan atau gampingan, batu lempung hitam, napal pasiran dan batu pasir gampingan serta berumur miosen tengah. Luas sruktur geologi ini sebesar 1.186 ha atau sebesar 3,11 % dari total luas wilayah Sub Das Lesti. Formasi Wonosari





Gambar 7. Peta Geologi Sub Das Lesti

(Tmwl) terbentuk dari batu gamping, napal pasiran, dan sisipan batu lempung serta berumur miosen akhir. Luas struktur geologi ini sebesar 1.630 ha atau sebesar 4,27 % dari total luas wilayah Sub Das Lesti. Endapan Gunung Api Buring (Qpvb), terbentuk dari lava basal olivin piroksen dan tuf pasiran serta berumur kuartar. Luas struktur geologi ini sebesar 17 ha atau sebesar 0,04 % dan merupakan struktur geologi yang luasannya terkecil di wilayah Sub Das Lesti.

#### 4.3. Lereng

Sub Das Lesti termasuk di daerah yang mempunyai jenis lereng beragam. Terdapat 7 kelas lereng yang ada di Sub Das Lesti mulai dari datar, agak datar, landai, agak curam, curam, sangat curam, dan terjal. Di Sub Das Lesti bagian utara mempunyai lereng >60 % yang termasuk dalam kelas lereng terjal. Bagian selatan kebanyakan mempunyai lereng 8-15 % dan 15-25 % yang termasuk dalam kelas lereng landai sampai dengan agak curam. Keberagaman jenis lereng ini dikarenakan sebagian wilayahnya yang terletak di daerah lereng Gunung Semeru. Keberagaman jenis lereng pada daerah Sub Das Lesti dapat dilihat pada Gambar 8 dan untuk luasannya pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Luas Kelerengan Sub Das Lesti

No	Lereng (%)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	0 – 3	3.232	8,48
2	3 – 8	7.026	18,43
3	8 – 15	3.366	8,83
4	15 – 25	13.619	35,72
5	25 – 40	4.283	11,23
6	40 – 60	1.218	3,19
7	> 60	5.387	14,13

#### 4.4. Ketinggian Tempat

Sub Das Lesti sebagian besar daerahnya termasuk dataran rendah dengan ketinggian rata-rata 300-600 m dpl. Titik terendah wilayah Sub Das Lesti berada pada Kecamatan Dampit, sebagian Kecamatan Wajak dan Tirtoyudo, sedangkan titik tertinggi berada pada Gunung Semeru. Luas ketinggian tempat di Sub Das Lesti disajikan pada Tabel 5 dan untuk peta sebaran ketinggian tempat disajikan pada Gambar 9.

**Tabel 5.** Luas Ketinggian Tempat Sub Das Lesti

No	Ketinggian (m dpl)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	300 – 600	20.416	53,54
2	600 – 900	9.200	24,13
3	900 - 1.200	3.678	9,65
4	1.200 - 1.500	1.619	4,25
5	1.500 - 1.800	1.003	2,63
6	1.800 - 2.100	709	1,86
7	2.100 - 2.400	666	1,75
8	2.400 - 2.700	538	1,41
9	2.700 - 3.000	261	0,68
10	3.000 - 3.300	22	0,06
11	> 3.300	18	0,05

#### 4.5. Bentuk Lahan

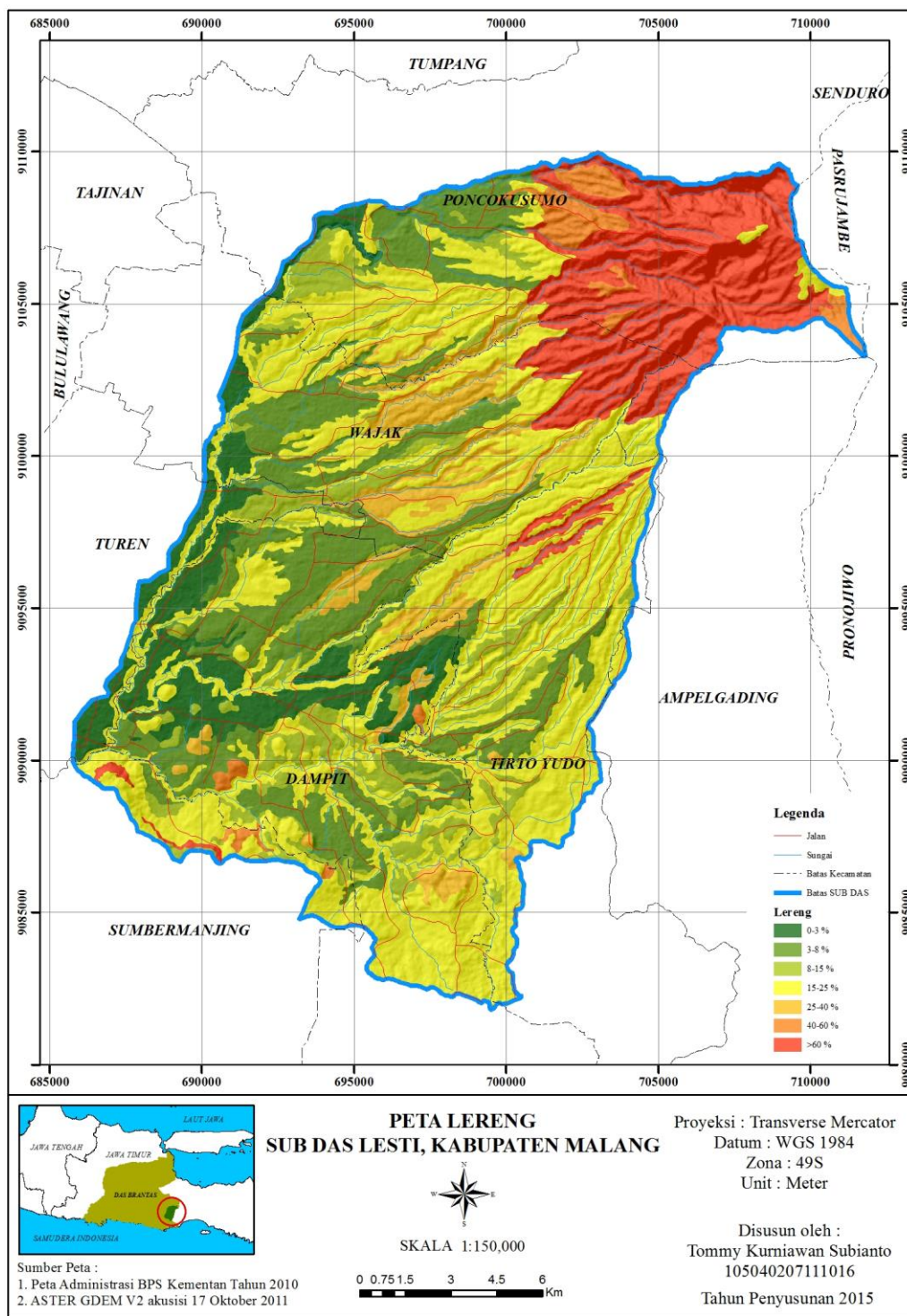
Wilayah Sub Das Lesti menurut klasifikasi dari Marsoedi (1997), terbentuk dari 3 bentuk lahan utama yaitu, Aluvial, Vulkanik, dan Tektonik (Sudarto, 1989). Bentuk lahan Aluvial dibedakan atas Dasar Lembah Hasil Gunung Api, Dasar Lembah, Dataran Aluvial, dan Dataran Antar Perbukitan. Untuk bentuk lahan Vulkanik dibedakan atas Kepundan, Lereng Volkan Atas Kuarter Muda, Lereng Volkan Atas Kuarter Tua, Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda, Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua, Lereng Volkan Tengah Kuarter Muda, dan Lereng Volkan Tengah Kuarter Tua. Sedangkan untuk bentuk lahan Tektonik dibedakan atas Gawir Plateau, Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api, Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Batu Gamping, Dataran Tektonik Berombak Hasil Gunung Api, Perbukitan Kecil Hasil Gunung Api, Perbukitan Tektonik Hasil Batu Gamping, dan Perbukitan Tektonik Hasil Gunung Api. Luasan bentuk lahan Sub Das Lesti disajikan pada Tabel 6 dan sebaran bentuk lahan Sub Das Lesti disajikan pada Gambar 10.

Bentuk lahan Aluvial mempunyai total luasan sebesar 3.290 ha atau sekitar 8,63 % dari total keseluruhan wilayah Sub Das Lesti. Bentuk lahan Aluvial ini dibagi lagi menjadi 4 sub bentuk lahan yaitu Dasar Lembah Hasil Gunung Api, Dasar Lembah, Dataran Aluvial, dan Dataran Antar Perbukitan.

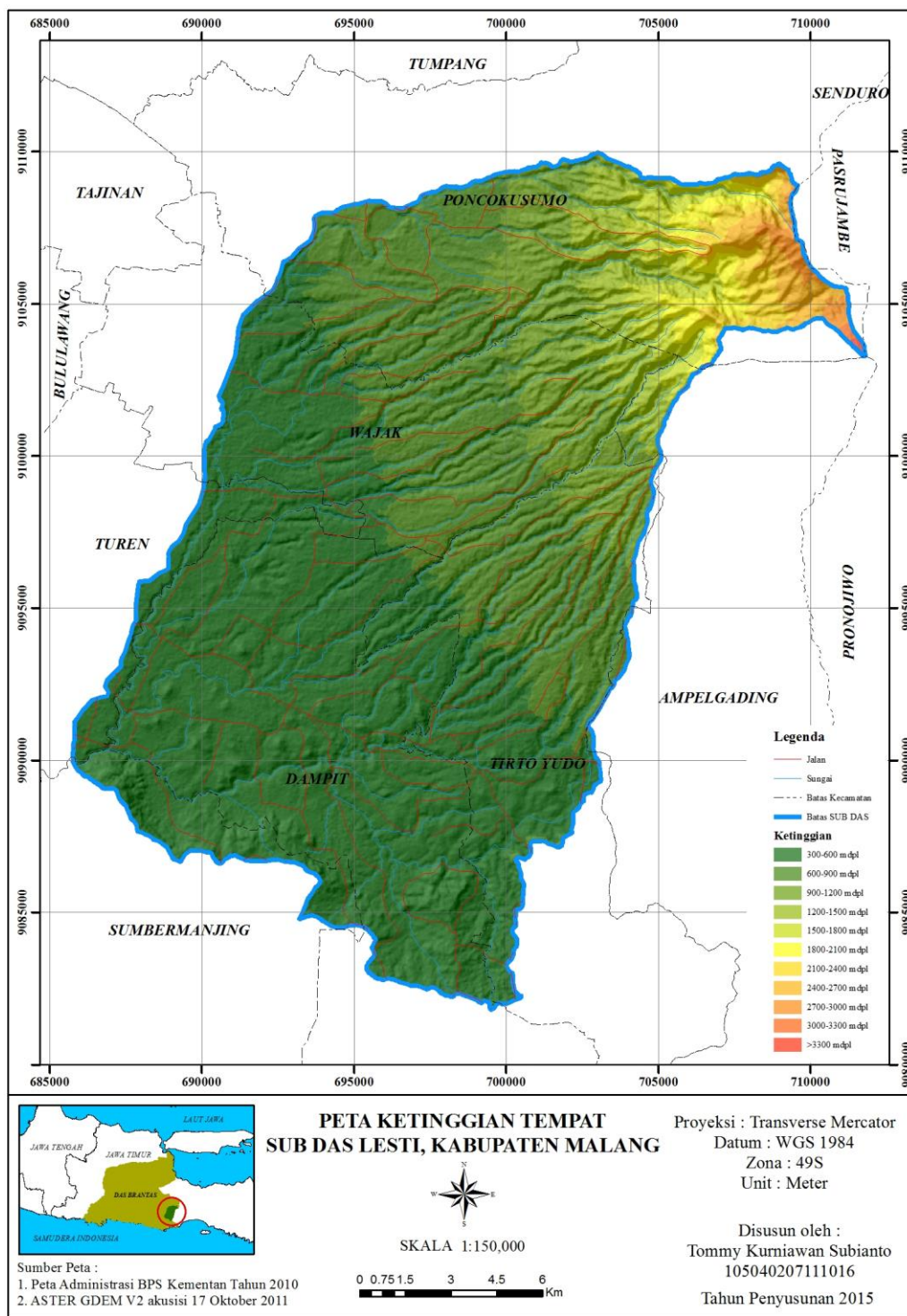
Sub bentuk lahan yang paling luas adalah Dataran Aluvial dengan luasan sebesar 1.788 ha atau sekitar 4,69 % dari total wilayah Sub Das Lesti. Bentuk lahan Aluvial ini terbentuk di wilayah Kecamatan Turen, Kecamatan Wajak, dan sebagian kecil Kecamatan Dampit.

Bentuk lahan Vulkanik mempunyai total luasan sebesar 25.596 ha atau sekitar 67,13 % dari total keseluruhan wilayah Sub Das Lesti dan merupakan bentukan lahan yang terluas. Wilayah sebaran bentuk lahan Vulkanik ini di daerah Kecamatan Wajak, Kecamatan Poncokusumo, sebagian Kecamatan Dampit dan Kecamatan Tirtoyudo. Bentuk lahan Vulkanik ini dibagi lagi menjadi 7 sub bentuk lahan yaitu Kepundan, Lereng Volkan Atas Kuarter Muda, Lereng Volkan Atas Kuarter Tua, Lereng Volkan Tengah Kuarter Muda, Lereng Volkan Tengah Kuarter Tua, Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda, dan Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua. Jenis sub bentuk lahan kuarter tua dipengaruhi oleh aktivitas gunung api Jembangan sedangkan untuk yang kuarter muda dipengaruhi oleh aktivitas gunung api Semeru. Sub bentuk lahan yang terluas adalah Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda dengan luasan sebesar 14.073 ha atau sekitar 36,91 % dari wilayah keseluruhan Sub Das Lesti.

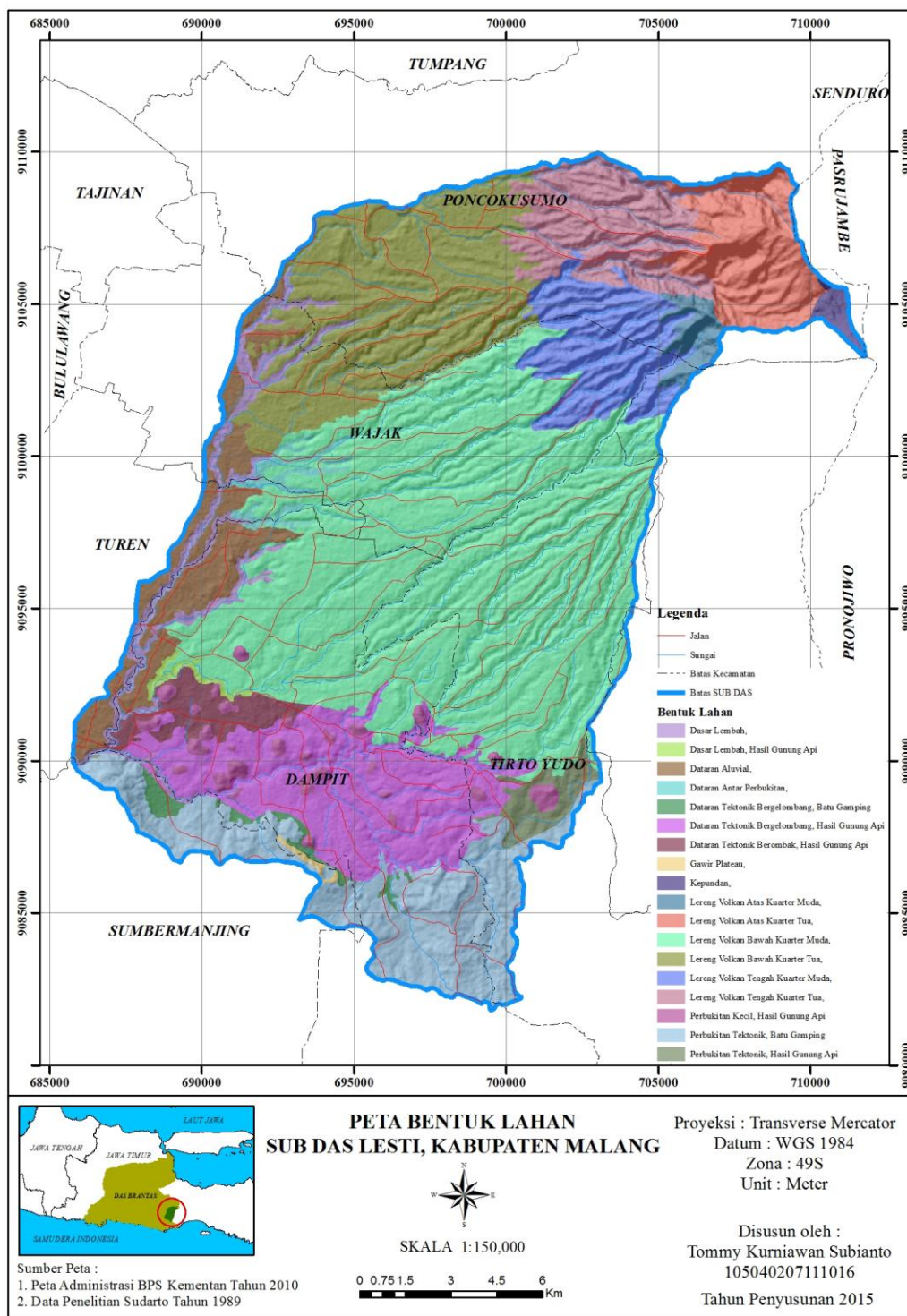
Bentuk lahan Tektonik mempunyai total luasan sebesar 9.245 ha atau sekitar 24,25 % dari total keseluruhan wilayah Sub Das Lesti. Bentuk lahan Tektonik ini dibagi lagi menjadi 7 sub bentuk lahan yaitu Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api, Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Batu Gamping, Dataran Tektonik Berombak Hasil Gunung Api, Gawir Plateau, Perbukitan Kecil Hasil Gunung Api, Perbukitan Tektonik Hasil Batu Gamping, dan Perbukitan Tektonik Hasil Gunung Api. Bentuk lahan Tektonik tersebar didaerah Kecamatan Dampit, Kecamatan Sumbermanjing, dan sebagian Kecamatan Tirtoyudo. Sub bentuk lahan terluas adalah Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api dengan luasan sebesar 3.766 ha atau sekitar 9,88 % dari total keseluruhan wilayah Sub Das Lesti.



Gambar 8. Peta Kelerengan Sub Das Lesti



Gambar 9. Peta Ketinggian Tempat Sub Das Lesti



Gambar 10. Peta Bentuk Lahan Sub Das Lesti

**Tabel 6.** Luas Bentuk Lahan Sub Das Lesti

No	Bentuk Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Dasar Lembah Hasil Gunung Api	118	0,31
2	Dasar Lembah	1.063	2,79
3	Dataran Aluvial	1.788	4,69
4	Dataran Antar Perbukitan	321	0,84
5	Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api	3.766	9,88
6	Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Batu Gamping	243	0,64
7	Dataran Tektonik Berombak Hasil Gunung Api	647	1,70
8	Gawir Plateau	45	0,12
9	Perbukitan Kecil Hasil Gunung Api	552	1,45
10	Perbukitan Tektonik Hasil Batu Gamping	3.544	9,29
11	Perbukitan Tektonik Hasil Gunung Api	447	1,17
12	Kepundan	178	0,47
13	Lereng Volkan Atas Kuarter Muda	385	1,01
14	Lereng Volkan Atas Kuarter Tua	1.813	4,76
15	Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda	14.073	36,91
16	Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua	5.063	13,28
17	Lereng Volkan Tengah Kuarter Muda	1.993	5,23
18	Lereng Volkan Tengah Kuarter Tua	2.090	5,48

Sumber data : Sudarto (1989)

#### 4.6. Jenis Tanah

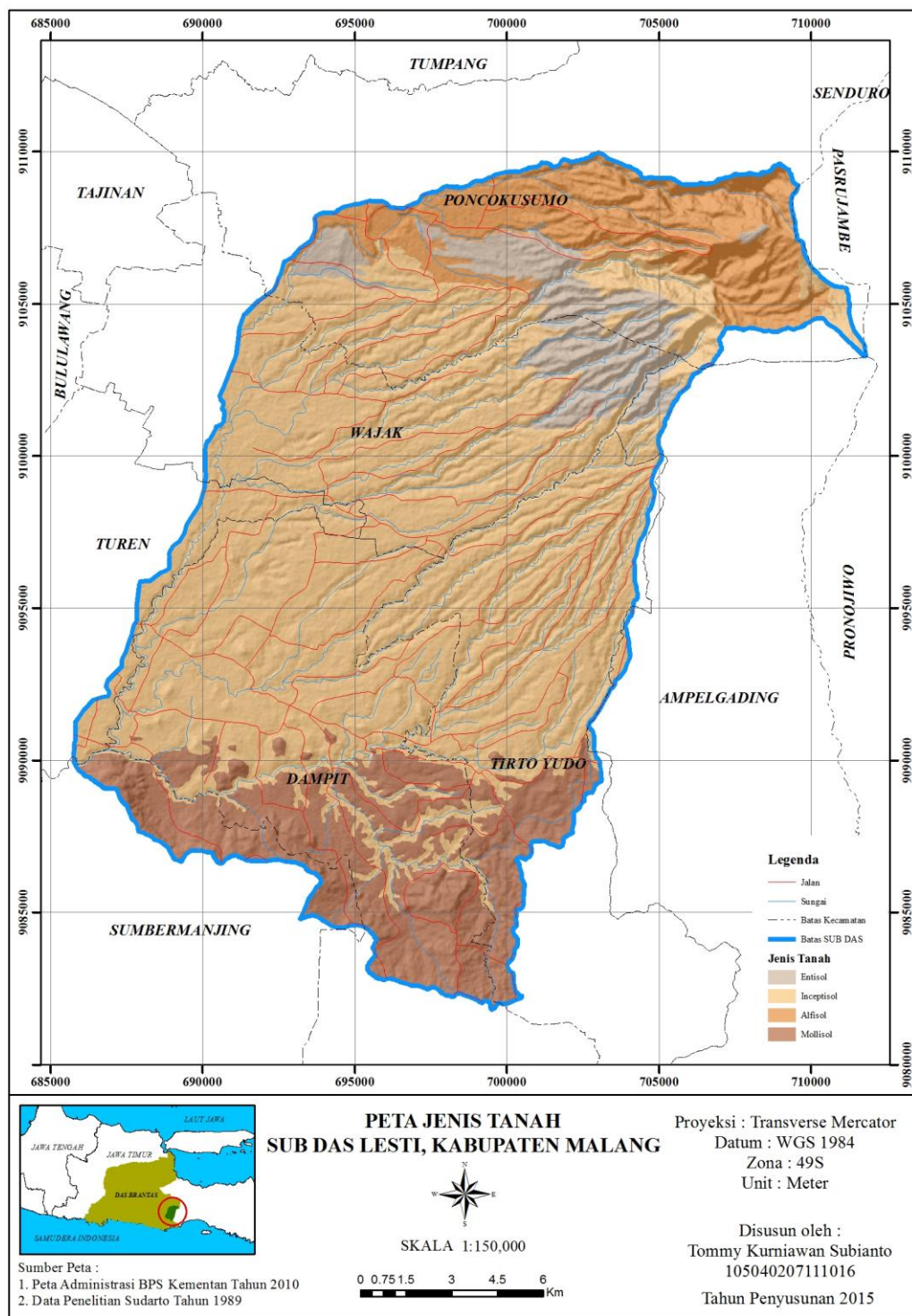
Menurut Sudarto (1989), secara umum daerah Sub Das Lesti memiliki jenis tanah Inceptisols. Jenis tanah yang paling dominan adalah Inceptisols yang memiliki luas 24.744 ha. Jenis tanah Mollisols dengan luas 6.186 ha. Jenis tanah Alfisols dengan luas 4.455 ha dan jenis tanah Entisols yang mempunyai luas terkecil yaitu 2.746 ha. Peta sebaran jenis tanah disajikan pada Gambar 11 dan luasan jenis tanah di Sub Das Lesti disajikan pada Tabel 7.

**Tabel 7.** Luas Jenis Tanah Sub Das Lesti

No	Jenis Tanah	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Alfisols	4.455	11,68
2	Entisols	2.746	7,20
3	Inceptisols	24.744	64,89
4	Mollisols	6.186	16,22

Sumber data : Sudarto (1989)

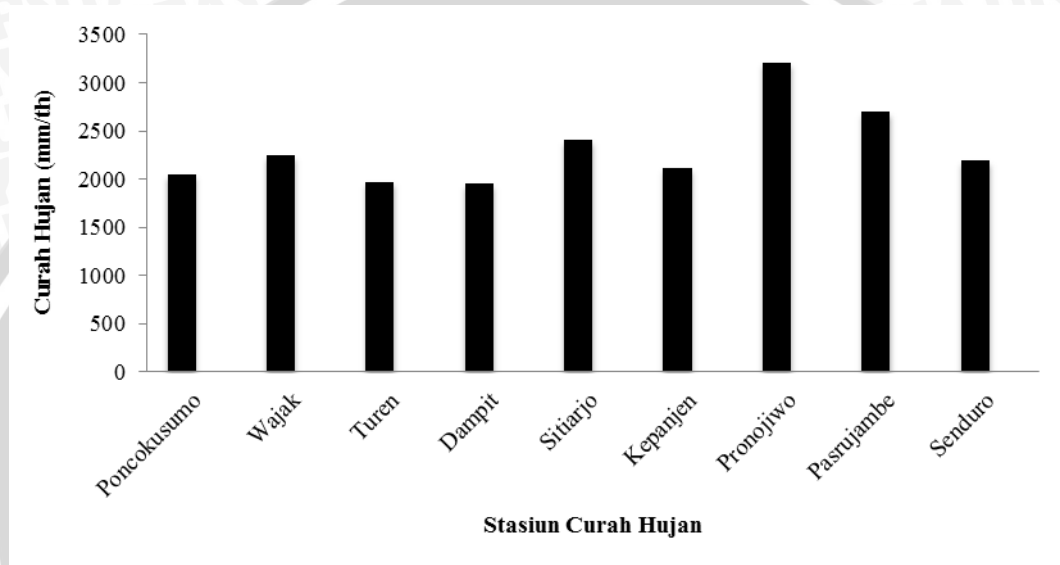




Gambar 11. Peta Jenis Tanah Sub Das Lesti

#### 4.7. Iklim

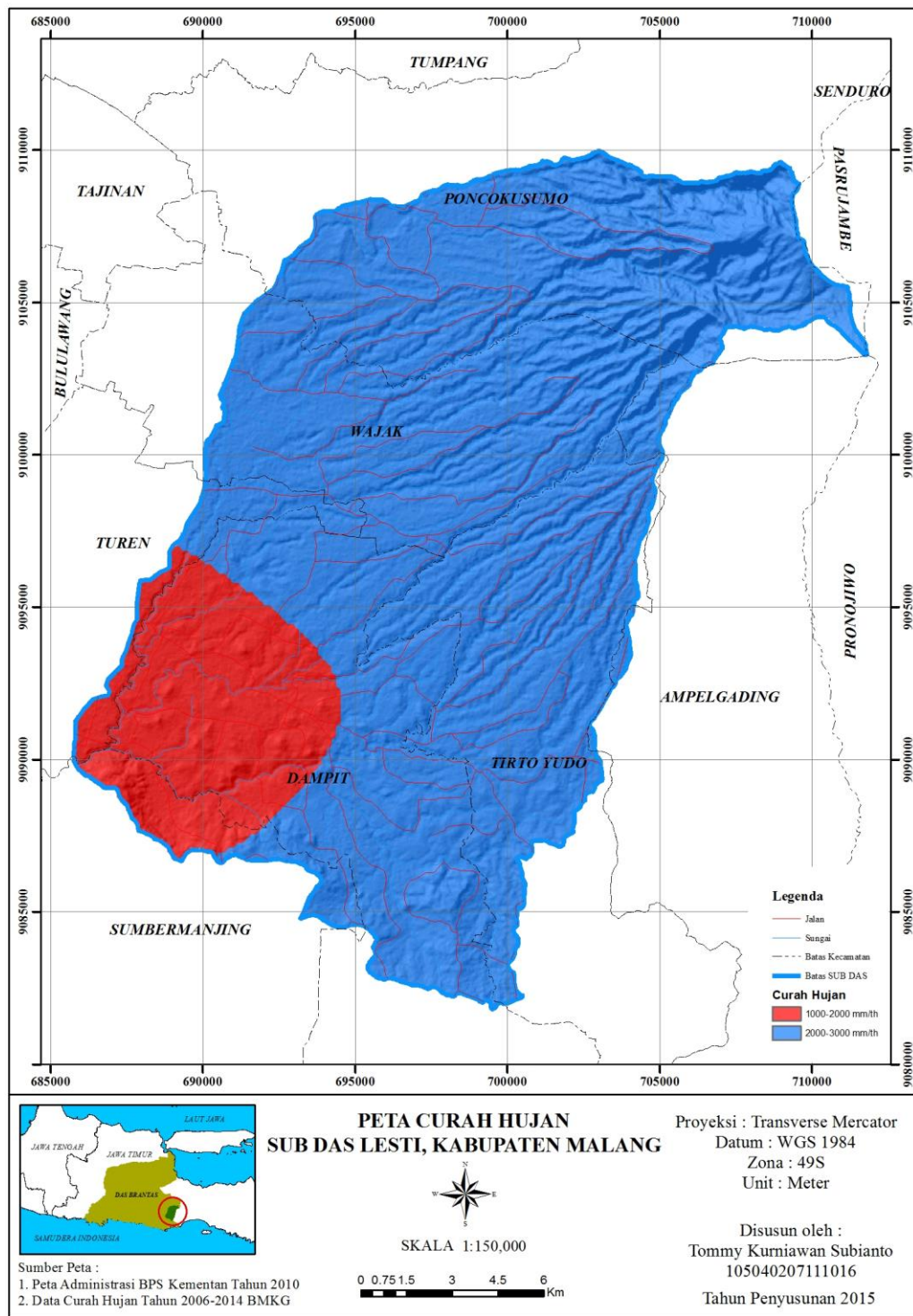
Data curah hujan diperoleh dari stasiun BMKG Karangploso, di sekitar daerah Sub Das Lesti terdapat 6 stasiun curah hujan, yaitu Poncokusumo, Wajak, Turen, Dampit, Sitiarjo, dan Kepanjen. Data curah hujan dihitung dan dirata-rata selama 9 tahun dimulai dari tahun 2006-2014 kemudian ditentukan bulan basah dan bulan keringnya. Grafik curah hujan rata-rata tahunan disajikan pada Gambar 12.



**Gambar 12.** Curah Hujan Rata-rata Tahunan Tahun 2006-2014

Pada grafik diketahui bahwa curah hujan tahunan rata-rata tertinggi terdapat pada stasiun Pronojiwo 3211 mm/th, kemudian Pasrujambe 2698 mm/th, Sitiarjo 2408 mm/th, Wajak 2244 mm/th, Senduro 2192 mm/th, Kepanjen 2109 mm/th, Poncokusumo 2046 mm/th, Turen 1973 mm/th, dan yang terendah stasiun Dampit 1951 mm/th.

Menurut klasifikasi tipe iklim Oldeman bahwa kriteria untuk bulan basah apabila dalam satu bulan curah hujannya  $> 200$  mm, sedangkan kriteria untuk bulan kering apabila dalam satu bulan curah hujannya  $< 100$  mm. Tipe iklim Oldeman pada Sub Das Lesti adalah tipe C3, yaitu bulan basah 5-6 bulan dan bulan keringnya 4-6 bulan. Berdasarkan perhitungan pembagian bulan basah dan bulan kering bahwa di Sub Das Lesti terdapat 7 bulan basah dan 5 bulan kering. Peta sebaran curah hujan wilayah Sub Das Lesti disajikan pada Gambar 13.



Gambar 13. Peta Curah Hujan Sub Das Lesti

#### 4.8. Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan di daerah Sub Das Lesti terbagi atas 8 jenis penggunaan lahan yaitu, pemukiman, tubuh air, hutan, tegalan, kebun, semak belukar, sawah, dan lahan kosong. Identifikasi penggunaan lahan ini memanfaatkan teknologi penginderaan jauh yaitu menggunakan citra satelit Landsat 8 OLI. Hasil dari identifikasi citra sekitar 99,95 % dari total keseluruhan yang dapat diidentifikasi.

Total luas keseluruhan wilayah Sub Das Lesti  $\pm$  38.130 ha. Jenis penggunaan lahan terluas adalah kebun dengan luasan  $\pm$  13.286 ha atau sekitar 34,84 % luasan total. Sedangkan untuk jenis penggunaan lahan terkecil adalah lahan kosong dengan luasan  $\pm$  166 ha atau sekitar 0,44 %. Informasi lebih rinci tentang penggunaan lahan disajikan pada Tabel 8. Sebaran penggunaan lahan disajikan pada Gambar 14.

**Tabel 8.** Luas Penggunaan Lahan Sub Das Lesti

No	Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Awan	14	0,04
2	Bayangan	3	0,01
3	Pemukiman	1.676	4,40
4	Tubuh Air	160	0,42
5	Hutan	3.987	10,46
6	Tegalan	9.647	25,30
7	Kebun	13.286	34,84
8	Semak Belukar	8.381	21,98
9	Sawah	810	2,12
10	Lahan Terbuka	166	0,44

Hasil klasifikasi citra Landsat 8 OLI tahun 2014 menggunakan metode klasifikasi hirarki, diperoleh luas total Sub Das Lesti adalah  $\pm$  38.130 ha. Penggunaan lahan pada klasifikasi citra dibagi menjadi 8 jenis, yaitu hutan, semak belukar, kebun, tegalan, sawah, lahan terbuka, pemukiman, dan tubuh air. Setelah dilakukan klasifikasi citra, kemudian dilakukan tahap *Accuracy Assesment* yang digunakan untuk mengetahui keakuratan dari hasil klasifikasi citra satelit. Proses ini membandingkan hasil klasifikasi citra satelit dengan hasil pengamatan langsung di lapangan.

Hasil keseluruhan perhitungan akurasi penggunaan lahan adalah 71,43 %. Dimana hasil dari akurasi terkecil adalah sawah sebesar 0 % dan akurasi terbesar adalah hutan dan tubuh air sebesar 100 %. Nilai akurasi pada setiap penggunaan lahan disajikan pada Tabel 9. Sedangkan untuk matrik kesalahan pada setiap penggunaan lahan disajikan pada Tabel 10.

**Tabel 9.** Nilai Akurasi Pada Setiap Penggunaan Lahan

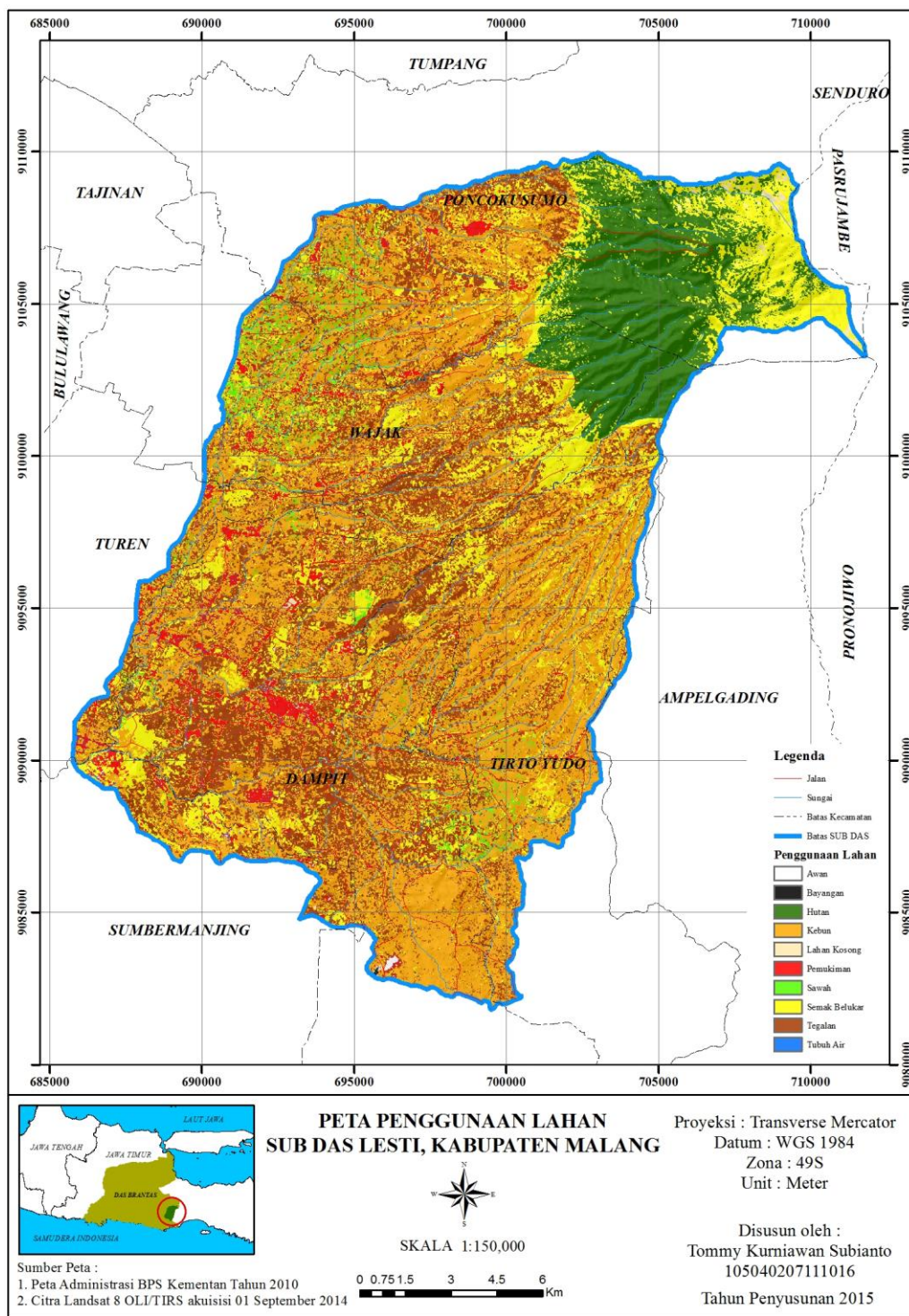
Penggunaan Lahan	Akurasi (%)
Hutan	100
Tegalan	71
Kebun	75
Semak Belukar	83
Sawah	0
Pemukiman	71
Lahan Terbuka	38
Tubuh Air	100

**Tabel 10.** Hasil Accuracy Assessment Penggunaan Lahan

Penggunaan Lahan	Ht	Tg	Kb	Sb	Sw	Pm	Lt	Ta	Total
Ht	4	0	0	0	0	0	0	0	4
Tg	0	12	5	0	0	0	0	0	17
Kb	0	5	21	1	1	0	0	0	28
Sb	0	1	1	10	0	0	0	0	12
Sw	0	0	2	1	0	0	0	0	3
Pm	0	0	0	0	0	5	2	0	7
Lt	0	0	0	2	2	1	3	0	8
Ta	0	0	0	0	0	0	0	5	5
<b>Total</b>	<b>4</b>	<b>18</b>	<b>29</b>	<b>14</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>84</b>

Keterangan : Ht : Hutan, Tg : Tegalan, Kb : Kebun, Sb : Semak Belukar, Sw : Sawah, Pm : Pemukiman, Lt : Lahan Terbuka, Ta : Tubuh Air

Secara umum wilayah Sub Das Lesti didominasi oleh penggunaan lahan kebun yang sebagian besar ditanami kopi, sengon, dan jati. Kondisi lahan yang kering sangat mendukung untuk ditanami tanaman tahunan serta tanaman semusim seperti, tebu, jagung, singkong, pisang dan sebagainya.



Gambar 14. Peta Penggunaan Lahan Sub Das Lesti

## V. HASIL DAN PEMBAHASAN

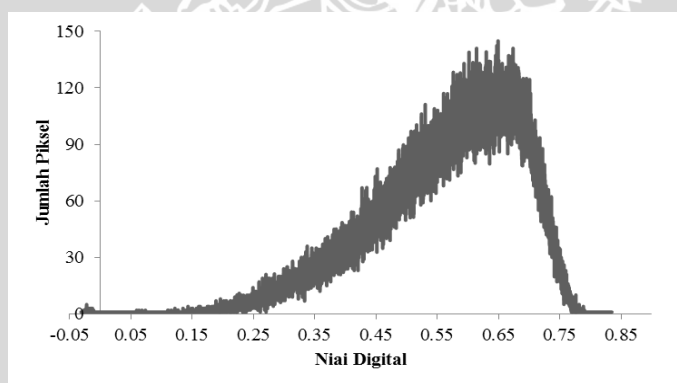
### 5.1. Hasil

#### 5.1.1. Sebaran Nilai Kadar Air Tanah di Sub DAS Lesti

Titik pengamatan untuk estimasi sebanyak 33 titik dan untuk validasi sebanyak 33 titik yang tersebar dilokasi yang berbeda. Hasil nilai kadar air tanah mayoritas mempunyai nilai  $> 5\%$  dengan rata-rata  $9,54\%$ . Nilai tersebut didapatkan dari perhitungan dengan metode gravimetri. Sebaran nilai kadar air tanah disajikan pada Lampiran 5.

#### 5.1.2. NDVI

NDVI pada wilayah Sub Das Lesti memiliki rentang nilai antara  $-0,03$  sampai  $0,84$ . Dominasi nilai NDVI mulai diantara  $0,45$  sampai  $0,75$ . Titik puncak pada NDVI ini mempunyai nilai digital  $0,84$  dengan jumlah 1 piksel. Sedangkan jumlah piksel terbanyak mempunyai nilai digital  $0,65$  dengan jumlah 145 piksel (Gambar 15).



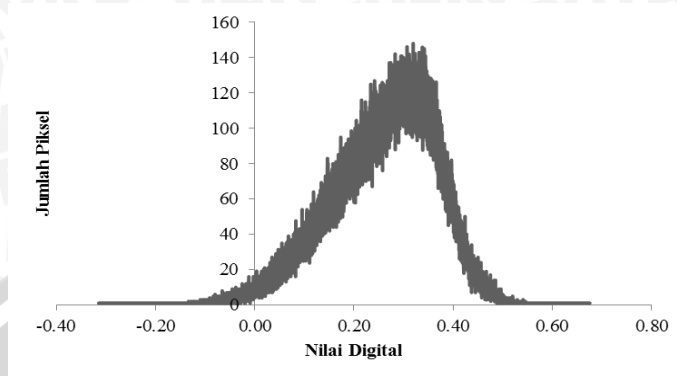
**Gambar 15.** Grafik Sebaran Nilai Digital NDVI

Pada Gambar 15 menjelaskan nilai digital pada kombinasi *band* 4 dan 5 yaitu NDVI yang memiliki sebaran nilai yang membentuk suatu pola. Hasil analisis NDVI menunjukkan bahwa di wilayah Sub Das Lesti memiliki kerapatan vegetasi yang rapat, hal ini didukung dengan data penggunaan lahan hasil klasifikasi yang dominan dengan penggunaan lahan kebun.

#### 5.1.3. NDWI

NDWI pada wilayah Sub Das Lesti memiliki rentang nilai antara  $-0,31$  sampai  $0,68$ . Dominasi nilai NDWI mulai diantara  $-0,05$  sampai  $0,40$ . Titik

puncak pada NDWI ini mempunyai nilai digital 0,31 dengan jumlah 1 piksel. Sedangkan jumlah piksel terbanyak mempunyai nilai digital 0,32 dengan jumlah 148 piksel (Gambar 16).

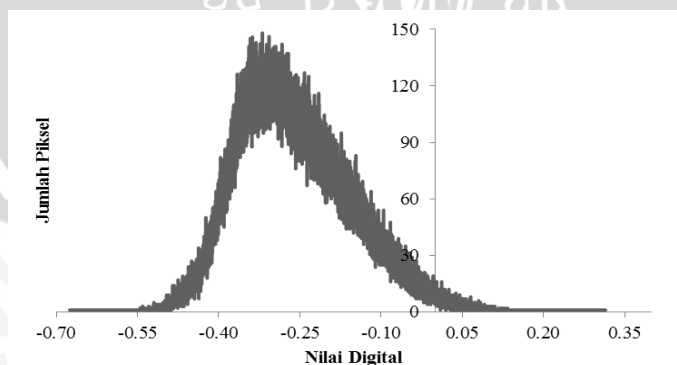


**Gambar 16.** Grafik Sebaran Nilai Digital NDWI

Pada Gambar 16 menjelaskan nilai digital pada kombinasi *band* 5 dan 6 yaitu NDWI yang memiliki sebaran nilai yang beragam. Hasil analisis NDWI menunjukkan bahwa di Wilayah Sub Das Lesti memiliki nilai indeks air yang sedang, hal ini didukung dengan hasil interpretasi NDVI yang menunjukkan nilai kerapatan vegetasinya cenderung sedang.

#### 5.1.4. NDSI

NDSI pada wilayah Sub Das Lesti memiliki rentang nilai antara -0,68 sampai 0,31. Dominasi nilai NDSI mulai diantara -0,40 sampai 0,05. Titik puncak pada NDSI ini mempunyai nilai digital -0,31 dengan jumlah 1 piksel. Sedangkan jumlah piksel terbanyak mempunyai nilai digital -0,32 dengan jumlah 148 piksel (Gambar 17).



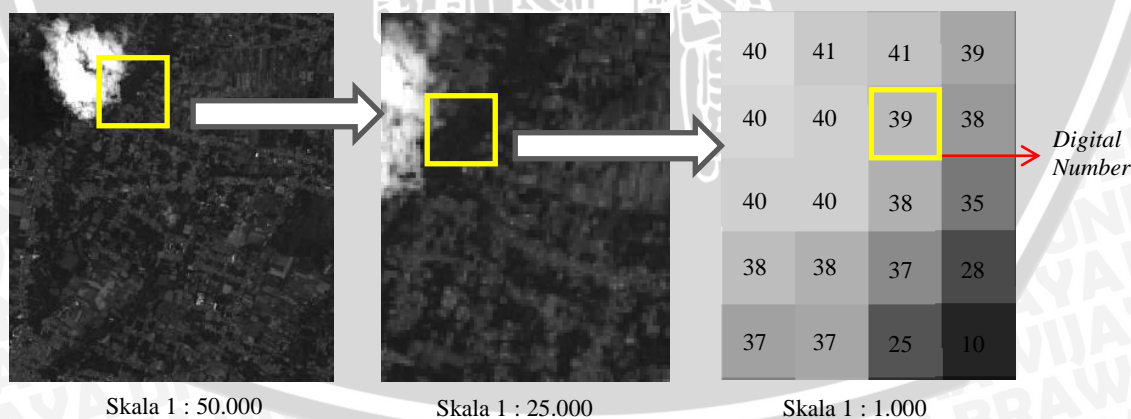
**Gambar 17.** Grafik Sebaran Nilai Digital NDSI



Pada Gambar 17 menjelaskan nilai digital pada kombinasi *band* 5 dan 6 yaitu NDSI yang memiliki sebaran nilai digital yang beragam. Hasil analisis NDSI menunjukkan bahwa di Wilayah Sub Das Lesti sebagian besar lahannya tertutup oleh tanaman, hasil ini juga didukung dengan nilai NDVI hasil interpretasi yang menunjukkan nilai kerapatan vegetasinya yang tergolong sedang.

**5.1.5. Digital Number Citra Satelit Landsat 8 OLI Tahun 2014**

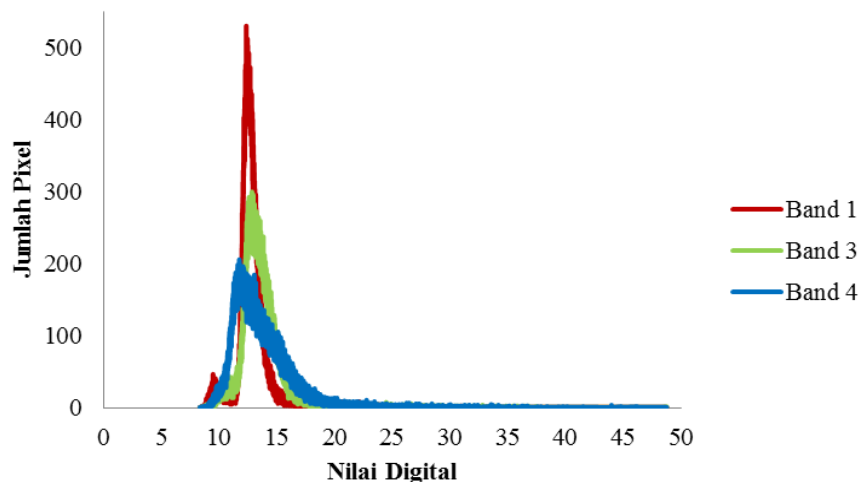
Citra satelit memiliki nilai digital yang berbeda di setiap piksel pada masing-masing *band* yang mempunyai arti dan manfaat tersendiri. Hal tersebut dikarenakan setiap *band* pada citra satelit memiliki panjang gelombang yang berbeda. Pada penelitian ini, citra satelit yang digunakan adalah Landsat 8 OLI yang memiliki 11 *band* dengan fungsi yang berbeda dan memiliki nilai digital berbeda pada setiap 1 pikselnya. Nilai digital tersebut diidentifikasi pada semua titik pengamatan sekunder kadar air tanah untuk mendapatkan sebuah model atau formula untuk memperkirakan kadar air tanah. Penentuan model atau formula ini menggunakan *band* 1 sampai 7 dan 9, sedangkan untuk *band* 10 dan 11 tidak digunakan karena mempunyai resolusi citra yang kasar yaitu 100 m x 100 m. Contoh kenampakan nilai digital pada citra satelit Landsat 8 disajikan pada Gambar 18.



**Gambar 18.** Ilustrasi Kenampakan Nilai Digital pada Citra Satelit Landsat 8

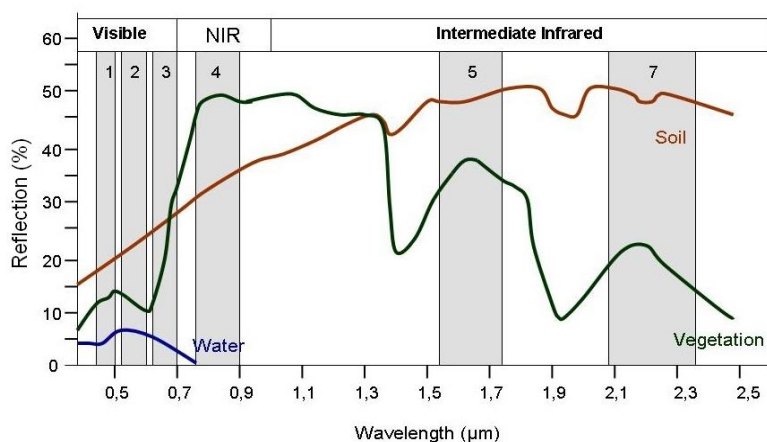
Hasil dari regresi dengan metode *stepwise*, menunjukkan bahwa terdapat 3 *band* yang dapat membentuk persamaan model perkiraan kadar air tanah. Keempat *band* tersebut yaitu, *band* 1, *band* 3, dan *band* 4. *Band* tersebut terpilih

karena sebaran nilai digitalnya yang lebih sensitif dalam membentuk model perkiraan dan berdasarkan nilai  $P\text{-Value} < 0,05$ . Grafik sebaran nilai digital citra satelit Landsat 8 OLI disajikan pada Gambar 19.



**Gambar 19.** Grafik Sebaran Nilai Digital Citra Satelit Landsat 8 OLI

Pada Gambar 19 menjelaskan nilai digital pada *band* 1, 3, dan 4 yang memiliki sebaran nilai yang berbeda. Pada *band* 1 memiliki titik puncak pada nilai digital 12,37 dengan jumlah 531 piksel, *band* 3 memiliki titik puncak pada nilai digital 8,09 dengan jumlah 300 piksel, dan *band* 4 memiliki titik puncak pada nilai digital 5,72 dengan jumlah 206 piksel. Ketiga *band* tersebut digunakan untuk mengestimasi sebaran kadar air tanah dengan jumlah nilai digital yang berbeda. Nilai digital ini menginformasikan seberapa besar atau kecilnya ukuran atau intensitas cahaya atau gelombang mikro yang dapat ditangkap oleh sensor citra satelit (Ekadinata *et al.*, 2008).



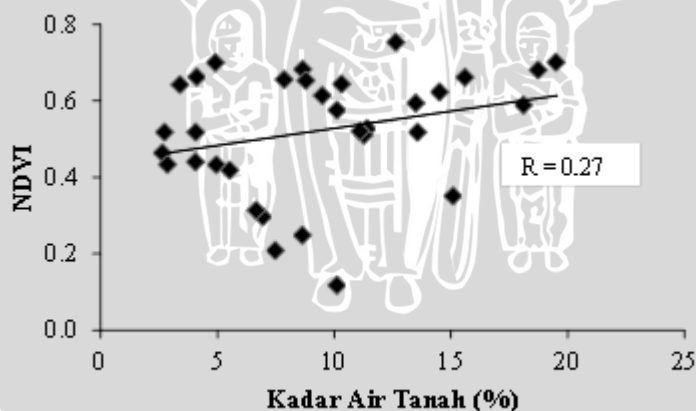
**Gambar 20.** Karakteristik Panjang Gelombang Citra Landsat (SEOS, 2015)

Berdasarkan hasil dari regresi didapatkan *band* 1, *band* 3, dan *band* 4 yang merupakan *band* terbaik dalam analisis kadar air tanah. Panjang gelombang dari *band* 1 yaitu 0,433-0,453  $\mu\text{m}$ , *band* 3 yaitu 0,525-0,600  $\mu\text{m}$ , dan *band* 4 0,630-0,680  $\mu\text{m}$ . Hal ini sesuai dengan Gambar 20 yang menjelaskan bahwa panjang gelombang yang mampu mendeteksi air berada diantara 0,4  $\mu\text{m}$  sampai 0,8  $\mu\text{m}$  dengan nilai *reflectance* sebesar 5 %.

## 5.2. Pembahasan

### 5.2.1. Model Estimasi Kadar Air Tanah Menggunakan NDVI

Model dengan kombinasi *band* 4 dan 5, yaitu NDVI yang menghasilkan nilai hubungan yang positif sebesar 0,27. Nilai korelasi 0,27 termasuk dalam kriteria koefisien korelasi yang lemah. Dikarenakan hasil antara kadar air tanah lapangan dengan nilai NDVI berkorelasi rendah maka tidak dilakukan uji regresi. Hal tersebut dikarenakan dalam satu piksel NDVI tidak semuanya tertutup oleh vegetasi. Satu piksel dalam citra NDVI bisa mencakup vegetasi dan jalan ataupun vegetasi dengan lahan kosong, oleh sebab itu tingkat korelasinya dapat dikatakan rendah. Sebaran nilai kadar air tanah dengan nilai NDVI disajikan pada Gambar 21.

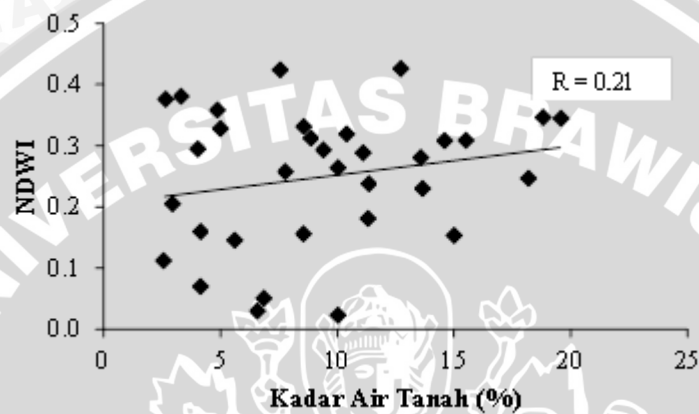


**Gambar 21.** Hubungan Kadar Air Tanah dengan Nilai NDVI

Dalam estimasi kadar air tanah NDVI dapat memprediksi dengan baik apabila permukaan tanah tertutup oleh vegetasi (Adiningsih, 2004). Hasil penelitian dari Adiningsih (2000) hanya menunjukkan nilai  $R^2$  sebesar 0,3 dalam mendeteksi kadar air tanah menggunakan NDVI citra NOAA-AVHRR.

### 5.2.2. Model Estimasi Kadar Air Tanah Menggunakan NDWI

Model dengan kombinasi antara *band* 5 dan 6, yaitu NDWI yang menghasilkan nilai hubungan yang positif sebesar 0,21. Nilai korelasi 0,21 termasuk dalam kriteria koefisien korelasi yang lemah. Dikarenakan hasil antara kadar air tanah lapangan dengan nilai NDWI berkorelasi rendah maka tidak dilakukan uji regresi. Hasil perbandingan kadar air tanah lapangan dengan nilai NDWI disajikan pada Gambar 22.



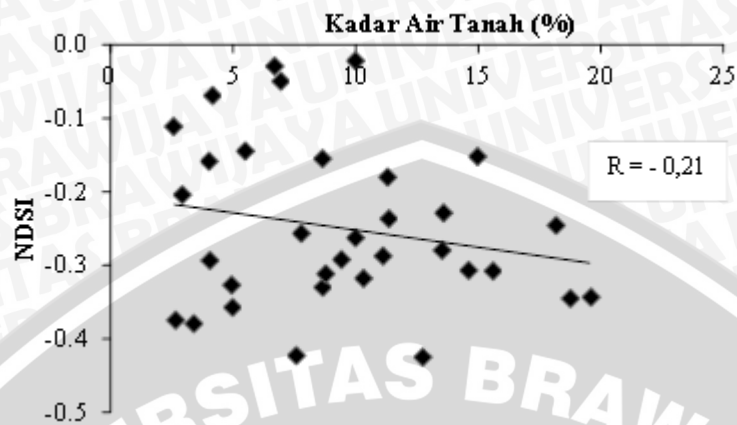
**Gambar 22.** Hubungan Kadar Air Tanah dengan Nilai NDWI

Hasil dari analisis korelasi antara NDWI dengan kadar air tanah lapangan memberikan pengaruh yang positif, tetapi dengan nilai korelasi yang rendah. Hal ini dikarenakan resolusi dari citra Landsat yang rendah sehingga menyebabkan keberagaman data di lapangan dalam satu pikselnya. Selain itu, pengaruh dari adanya liputan awan dan kabut pada atmosfer yang dapat mengganggu hasil interpretasi dari hasil NDWI. Hasil penelitian berbanding terbalik dengan penelitian Dirgahayu (2006) dimana hubungan kadar air tanah dengan NDWI mempunyai nilai  $R^2 = 0,62$  menggunakan citra MODIS.

### 5.2.3. Model Estimasi Kadar Air Tanah Menggunakan NDSI

Model dengan kombinasi antara *band* 5 dan 6, yaitu NDSI yang menghasilkan nilai hubungan yang negatif sebesar -0,21 menunjukkan bahwa setiap peningkatan nilai kadar air tanah maka nilai NDSI akan menurun. Nilai korelasi -0,21 termasuk dalam kriteria koefisien korelasi yang lemah, dikarenakan hasil antara kadar air tanah lapangan dengan nilai NDSI berkorelasi rendah maka

tidak dilakukan uji regresi. Hasil kadar air tanah lapangan dengan nilai NDSI disajikan pada Gambar 23.



**Gambar 23.** Hubungan Kadar Air Tanah dengan Nilai NDSI

Pada penelitian Dirgahayu (2006) didapatkan nilai  $R^2 = 0,60$  dalam mendeteksi kadar air tanah menggunakan NDSI citra MODIS. Hal ini berbeda dengan hasil nilai NDSI pada wilayah Sub Das Lesti yang mempunyai korelasi rendah, hal tersebut dikarenakan terdapat gangguan awan dan kabut pada citra Landsat yang digunakan untuk interpretasi NDSI. Permasalahan lain juga dikarenakan kurang menyebarnya titik pengamatan yang diambil sebagai titik estimasi dan juga validasinya.

#### 5.2.4. Model Estimasi Kadar Air Tanah Menggunakan DN (*Digital Number*)

Pendugaan kadar air tanah didapatkan dari perhitungan model regresi berganda antara nilai digital pada citra satelit dengan nilai kadar air tanah yang diperoleh dari data primer di lapangan. Model regresi berganda tersebut diperoleh menggunakan metode *stepwise regression* untuk menentukan model terbaik dari pendugaan kadar air tanah.

Model yang diperoleh dari persamaan regresi adalah sebagai berikut :

$$y = 38,79 - 8,3(B1) + 12,4(B3) - 4,18(B4)$$

(Persamaan 7)

Dimana B1 merupakan *band* 1, B3 merupakan *band* 3, dan B4 merupakan *band* 4. Persamaan ini memiliki nilai  $R^2 = 0,57$  yang mempunyai arti bahwa

sebesar 57 % dari nilai kadar air tanah estimasi tersebut dipengaruhi oleh *band* 1, 3, dan 4. Persamaan 7 diatas menunjukkan bahwa setiap peningkatan nilai B1 (*band* 1) sebesar 1 satuan akan memberikan pengaruh negatif pada kadar air tanah sebesar 8,3 %, maka terjadi penurunan kadar air tanah. Peningkatan nilai B3 (*band* 3) sebesar 1 satuan akan memberikan dampak pada peningkatan nilai kadar air tanah sebesar 12,4 %. Peningkatan nilai B4 (*band* 4) sebesar 1 satuan akan memberikan dampak penurunan kadar air tanah sebesar 4,18 %.

Menurut ESRI (2014), fungsi dari *band* 1 yaitu aerosol yang mampu mendeteksi partikel air yang ada di udara. Fungsi dari *band* 3 sendiri yaitu untuk mendeteksi penyerapan puncak pantulan dari vegetasi, sedangkan untuk fungsi dari *band* 4 adalah untuk membedakan vegetasi dan non vegetasi.

Formula hasil dari uji regresi *stepwise* selanjutnya digunakan untuk menganalisis sebaran kadar air tanah di Wilayah Sub Das Lesti. Analisis sebaran kadar air tanah pada citra satelit Landsat 8 menunjukkan bahwa sekitar 74 % dari luas keseluruhan Wilayah Sub Das Lesti yang dapat diidentifikasi kadar air tanahnya. Bagian yang tidak dapat diidentifikasi adalah awan, bayangan, pemukiman, dan tubuh air. Luasan setiap kriteria kadar air tanah menggunakan *band* 1, 3, dan 4 disajikan pada Tabel 15.

**Tabel 11.** Luasan Sebaran Kadar Air Tanah Menggunakan *Band* 1, 3, dan 4

No	Kandungan Air (%)	Kriteria	Luas (ha)	Persentase (%)
1	< 5	Sangat Rendah	3.093,48	10,96
2	5 – 20	Rendah	24.884,6	88,14
3	20 – 70	Sedang	253,71	0,90

Sumber Kriteria : Shofiyati (2007)

Pada Tabel 15 menunjukkan sebaran nilai kadar air tanah terbesar pada kisaran 5-20 % yaitu seluas 24.884,6 ha atau sekitar 88,14 % dari total luasan yang teridentifikasi. Kadar air tanah terbesar kedua pada kisaran <5 % dengan luasan 3.093,48 ha, kemudian kadar air tanah terkecil pada kisaran 20-70 % dengan luasan 253,71 ha. Sebaran estimasi kadar air tanah hasil pengkelasan berdasarkan kriteria disajikan pada Gambar 24.

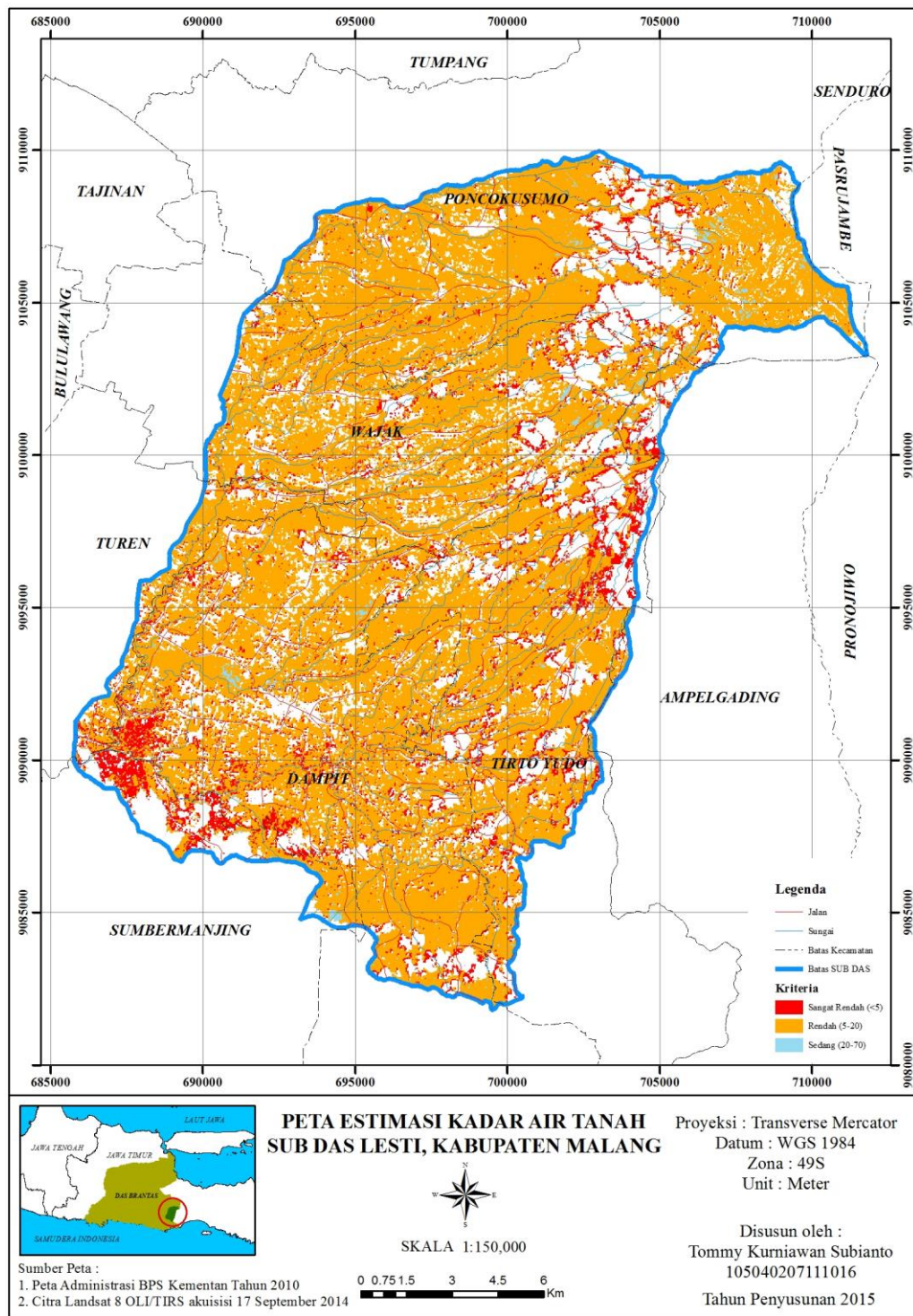
Hasil perhitungan antara estimasi model dan hasil analisis laboratorium kemudian dianalisis menggunakan uji t-berpasangan untuk mengetahui model estimasi tersebut dapat diaplikasikan atau tidak. Hasil perhitungan uji t-berpasangan antara hasil estimasi dan hasil analisis laboratorium disajikan pada Tabel 16.

**Tabel 12.** Hasil Uji t-berpasangan Kadar Air Tanah Lapangan dengan *Band* 1, 3, dan 4

	N	Mean	StDev	SE Mean
KA Lapangan	33	9,70	5,14	0,89
KA <i>Band</i> 1,3,4	33	9,03	2,76	0,48
<i>Difference</i>	33	0,68	5,99	1,04
			<i>P-value</i>	0,52

Hasil perhitungan uji t-berpasangan menunjukkan bahwa analisis kadar air tanah analisis laboratorium dengan hasil estimasi menggunakan *band* 1,3, dan 4 tidak berbeda nyata, hal ini ditunjukkan dengan nilai *P-value* lebih besar dari  $\alpha = 0,05$  yaitu 0,52. Dengan hasil demikian pendugaan kadar air tanah melalui penginderaan jauh menggunakan citra satelit Landsat 8 OLI di Sub Das Lesti dapat diaplikasikan.

Hasil dari estimasi menggunakan *digital number* ini menghasilkan *band* 1, 3, dan 4 yang lebih sensitif daripada *band* yang lainnya di wilayah Sub Das Lesti. Hal tersebut sesuai dengan karakteristik panjang gelombang citra Landsat, yaitu mendeteksi air pada panjang gelombang 0,4  $\mu\text{m}$  sampai 0,8  $\mu\text{m}$ . Selain itu, fungsi dari setiap *band* yang terpilih mendukung dalam mendeteksi air dalam tanah. Fungsi dari *band* 1 yaitu mendeteksi aerosol, aerosol disini merupakan partikel padat atau cair yang ada di udara. Panjang gelombang dari *band* 1 yaitu 0,433 - 0,453  $\mu\text{m}$ . Fungsi dari *band* 3 yaitu mendeteksi puncak pantulan dari vegetasi dengan panjang gelombang 0,525 - 0,600  $\mu\text{m}$ . Fungsi dari *band* 4 yaitu membedakan antara vegetasi dan bukan vegetasi dengan panjang gelombang 0,630 - 0,680  $\mu\text{m}$  (ESRI, 2014).



**Gambar 24.** Peta Estimasi Kadar Air Tanah Sub Das Lesti



### 5.2.5. Pemilihan Model Terbaik Untuk Estimasi Kadar Air Tanah

Pemilihan model terbaik untuk estimasi kadar air tanah berdasarkan nilai dari uji t-berpasangan yang paling baik dari keempat model tersebut. Dari keempat model tersebut, dipilih model estimasi menggunakan *digital number* untuk estimasi kadar air tanah dengan nilai *P-value* 0,52. Hal ini dikarenakan hasil koefisien korelasi antara NDVI, NDWI, dan NDSI dengan kadar air tanah hasil lapangan mempunyai hubungan yang lemah sehingga tidak bisa dilanjutkan dengan uji regresi dan uji t-berpasangan.

Model terbaik yang dipilih selain berdasarkan nilai *P-value*, juga memperhatikan fungsi dari masing-masing *band* dan panjang gelombang sesuai karakteristik dari Citra Landsat 8. Faktor lain yang mempengaruhi koefisien korelasi dari NDVI, NDWI, dan NDSI lemah antara lain (1) resolusi dari citra Landsat yang kurang detail dalam mendeteksi objek di permukaan bumi, (2) titik pengamatan yang tidak bisa mewakili keseluruhan wilayah penelitian, (3) jenis dan karakteristik dari tutupan lahan yang ada di permukaan bumi (Danoedoro, 2012), (4) gangguan atmosfer seperti adanya awan dan kabut juga dapat mempengaruhi *digital number* pada indeks tersebut (Soenarmo, 2009), dan (5) waktu pengambilan contoh tanah yang dilakukan pada waktu yang berbeda dan pada kondisi iklim yang kering sehingga kadar air tanah hasil analisis yang didapatkan kurang mempunyai banyak variasi.

## VI. KESIMPULAN DAN SARAN

### 6.1. Kesimpulan

1. *Digital number band* 1,3, dan 4 memberikan hubungan dan pengaruh yang paling baik dalam melakukan estimasi kadar air tanah jika dibandingkan dengan NDWI, NDVI, dan NDSI
2. Model estimasi kadar air tanah yang terbaik adalah *band* 1,3, dan 4 dengan nilai persamaan  $y = 38,79 - 8,3(\text{band } 1) + 12,4(\text{band } 3) - 4,18(\text{band } 4)$  dengan nilai  $R^2 = 0,57$

### 6.2. Saran

1. Model yang dihasilkan diaplikasikan di daerah lain dengan kondisi iklim yang lembab
2. Titik pengamatan dibedakan lagi berdasarkan berbagai jenis penggunaan lahan.
3. Jumlah titik pengamatan yang kurang bisa mewakili dari keseluruhan wilayah penelitian sehingga keberagaman data yang dihasilkan kurang.
4. Perlu penggunaan data citra satelit dengan resolusi tinggi guna memperoleh hasil yang lebih baik lagi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, E., S.Mahmud, E.Iskandar. 2000. Pemetaan Awal Musim Tanam Menggunakan Data Satelit Lingkungan dan Cuaca di Pulau Jawa. Prosiding Seminar Internasional Penginderaan Jauh dalam Pengembangan Ekonomi dan Pelestarian Lingkungan Hidup. 11-12 April. Jakarta.
- \_\_\_\_\_. 2004. Aplikasi Analisis Komponen Utama dalam Pemodelan Penduga Lengan Tanah dengan Data Satelit Multispektral. Jurnal Matematika dan Sains, 9 (1), hlm : 215-222.
- Adiwicaksono, H. 2013. Estimasi Distribusi Spasial Kekeringan Lahan di Kabupaten Tuban Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi. Skripsi. Jurusan Tanah Universitas Brawijaya. Malang.
- Asdak, C. 2004. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Ekadinata A., S.Dewi, D.Hadi, D.Nugroho, dan F.Johana. 2008. Sistem Informasi Geografis Untuk Pengelolaan Bentang Lahan Berbasis Sumber Daya Alam. Buku 1 : Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan jauh Menggunakan ILWIS Open Source. World Agroforestry Centre. Bogor, Indonesia.
- Danoedoro, P. 2012. Pengantar Penginderaan Jauh Digital. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Dirgahayu, D. 2006. Pengembangan Model Pendugaan Kelengasan Lahan Menggunakan Data MODIS. Jurnal Penginderaan Jauh.(3), hal : 15-25.
- ESRI. 2014. Available at <http://blogs.esri.com/esri/arcgis/2013/07/24/band-combinations-for-landsat-8/> (diakses tanggal 30 Juni 2014).
- Gao, B.C. 1996. *NDWI - A Normalized Difference Water Index For Remote Sensing Of Vegetation Liquid Water From Space*. Remote Sensing of Environment, 58, pp. 257-266.
- Haas, J. 2010. *Soil Moisture Modelling using TWI and Satellite Imagery in the Stockholm Region*. Royal Institute of Technology. Swedia.
- Hakim N.A., M.Nyakpa, S.G.Lubis, M.R.Nugroho, M.A.Saul, G.B.Diha, Hong & H.H.Bailey. 1986. Dasar-Dasar Ilmu Tanah. Penerbit Universitas Lampung. Lampung.
- Hardjowigeno. S., 1993. Ilmu Tanah. Penerbit Akademika Pressindo. Jakarta.

- Harjadi, B. 2010. Analisis Kerentanan Tumbuhan Hutan Akibat Perubahan Iklim (Variasi Musim dan Cuaca Ekstrem). Departemen Kehutanan. Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Balai Penelitian Kehutanan Solo.
- Ho, L.T.K., M.Umitsu, Y.Yamaguchi. 2010. *Flood Hazard Mapping by Satellite Images and SRTM DEM in the Vu Gia-Thu Bon Alluvial Plain, Central Vitenam*. International Archieve of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Science, 38(8), 275-280.
- Kendarto, D. R. 2004. Studi Komparatif Antara Penggunaan Citra Landsat TM dan Data Visual Geografis dalam Penentuan Potensi Ketersediaan Air Tanah (Studi Kasus Sub Das Cisangkuy, Das Citarum Bandung). Tesis. Institut Teknologi Bandung. Bandung.
- Lewis, D. and M. P. Finn. 2010. *Soil Moisture Estimation using Hyperspectral SWIR Imagery*. Presented at The American Geophysical Union Annual Meeting. San Francisco. California.
- Marjuki, B. 2010. Pengolahan Citra Digital Dasar Untuk Pemetaan Geomorfologi. Jurusan Geografi Lingkungan Fakultas Geografi. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Nashrrullah, S., S.Darmawan, F.Hadi, H.A.Budi, K.Wikantika. 2008. Analisis Kelembapan Tanah dengan Landsat ETM Menggunakan Metode TVDI (*Temperature Vegetation Dryness Index*). PIT MAPIN XVII. Bandung.
- Riza, S. 2010. Estimasi Bahan Organik Tanah di Kabupaten Sampang Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. Skripsi. Jurusan Tanah Universitas Brawijaya. Malang.
- Rozali, R. 2011. Pendugaan N-Total Tanah Daerah Aliran Sungai (DAS) Brantas Menggunakan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. Skripsi. Jurusan Tanah Universitas Brawijaya. Malang.
- SEOS. 2015. Available at <http://www.seos-project.eu/>. (diakses tanggal 25 Juni 2015).
- Serrano,V.S.M., P.Xavier, F.Jose, M.Cuadrat. 2004. *Mapping Soil Moisture in the Central Ebro River Valley (Northeast Spain) with Landsat and NOAA Satelite Imagery : Comparison with Metereological Data*. International Journal of Remote Sensing, 25, 4325 – 4350.
- Setiadi, Y. 2009. Pemanfaatan Citra Satelit Aster dalam Estimasi Distribusi Spasial Potensi Kekeringan Lahan di DAS Ngasinan, Trenggalek, Jawa Timur. Skripsi. Jurusan Tanah Universitas Brawijaya. Malang.

- Shofiyati, R., D.Kuncoro. 2007. Inderaja untuk Mengkaji Kekeringan di Lahan Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Informatika Pertanian, 16 (1).
- Soenarmo, H.S. 2009. Penginderaan Jauh dan Pengenalan Sistem Informasi Geografis Untuk Bidang Ilmu Kebumihan. Penerbit ITB. Bandung.
- Sudarto. 1989. Penggunaan Foto Udara Untuk Penilaian Tingkat Erosi di Sub Daerah Aliran Sungai Lesti Hulu dan Genteng Daerah Tangkapan Waduk Karangates Malang, Jawa Timur. Tesis. Fakultas Pascasarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Suyanto, R., K.Hadisantono, R.Chaniago, R.Baharuddin. 1992. Geologi Lembar Turen, Jawa. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- USGS. 2014. *Using the USGS Landsat 8 Product*. [http://landsat.usgs.gov/Landsat8\\_Using\\_Product.php](http://landsat.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php) (diakses tanggal 30 Juni 2014).
- Verstappen, H. 1977. *Remote Sensing in Geomorphology*. Elseviers. Amsterdam.
- Wibowo, L., A.Sholichin, M.Rispiningtati, A.Runi. 2013. Penggunaan Citra Aster Dalam Identifikasi Peruntukan Lahan pada Sub DAS Lesti (Kabupaten Malang). *Jurnal Teknik Pengairan*, (4) 1, hlm : 39-46.
- Wiweka, S., J.T.Nugroho. 2014. Pengembangan Model Identifikasi Daerah Tergenang (Inundated Area) Menggunakan Data Landsat 8. *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*. hlm : 381-391.
- Zeng, Y., Z.Feng, N.Xiang. 2004. *Assessment of Soil Moisture Using Landsat ETM+ Temperature / Vegetation Index in Semiarid Environment*. School of Info-Physics and Geomatics Engineering. Central South University. China.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Korelasi Data NDVI, NDWI, dan NDSI

	KA	NDVI	NDWI	NDSI
KA	1			
NDVI	0.27	1		
NDWI	0.20	0.64	1	
NDSI	-0.20	-0.64	-1	1

Lampiran 2. Uji Regresi Stepwise

Stepwise Regression: KA versus B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, B9

Alpha-to-Enter: 0.05 Alpha-to-Remove: 0.05

Response is KA on 8 predictors, with N = 33

Step	1	2	3	4	5	6
Constant	35.77	35.90	35.80	38.33	42.59	38.79
B1	-5.8	-5.8	-5.6	-6.1	-8.9	-8.3
T-Value	-1.19	-1.41	-1.42	-1.59	-5.11	-5.44
P-Value	0.244	0.172	0.168	0.124	0.000	0.000
B2		-3.7	-3.6	-3.8	-3.8	
T-Value		-0.65	-0.73	-0.80	-0.81	
P-Value		0.520	0.473	0.430	0.424	
B3		12.2	12.2	12.2	14.0	13.3
T-Value		3.36	3.45	3.51	5.62	5.73
P-Value		0.003	0.002	0.002	0.000	0.000
B4		-2.71	-2.73	-2.68	-3.93	-4.27
T-Value		-1.28	-1.40	-1.41	-4.14	-5.07
P-Value		0.211	0.173	0.170	0.000	0.000
B5		0.21	0.21	0.22		
T-Value		0.63	0.73	0.76		
P-Value		0.536	0.474	0.454		
B6		-0.46	-0.48	-0.49	-0.26	-0.16
T-Value		-0.65	-1.18	-1.25	-1.06	-0.77
P-Value		0.523	0.250	0.222	0.298	0.447
B7		-0.02				
T-Value		-0.03				
P-Value		0.980				
B9		5	5			
T-Value		0.23	0.24			
P-Value		0.822	0.816			
S		3.53	3.46	3.40	3.37	3.35
R-Sq		60.19	60.19	60.10	59.21	58.21
R-Sq(adj)		46.92	49.04	50.89	51.66	52.25
Mallows C-p		9.0	7.0	5.1	3.6	2.2

Estimasi KA<sub>DN</sub> :  $38.79 - 8.3(B1) + 12.4(B3) - 4.18(B4)$   $R^2 = 57.33$



**Lampiran 3. Uji t-berpasangan band 1,3, dan 4**

**Paired T-Test and CI: KA, Band\_134**

Paired T for KA - Band\_134

	N	Mean	StDev	SE Mean
KA	33	9.70498	5.13801	0.89441
Band_134	33	9.02508	2.75934	0.48034
Difference	33	0.679901	5.988852	1.042525

95% CI for mean difference: (-1.443654, 2.803455)

T-Test of mean difference = 0 (vs not = 0): T-Value = 0.65 P-Value = 0.519

**Lampiran 4. Nilai Kadar Air Tanah Validasi dengan Kadar Air Tanah Estimasi band 1,3, dan 4**

No	Kode	Penggunaan Lahan	Kadar Air Tanah (%)	Kadar Air Tanah Estimasi Band 1,3, dan 4
1	1_2	Tegalan	4,99	10,50
2	2_2	Kebun	8,42	7,75
3	3_2	Semak	10,35	10,02
4	4_2	Tegalan	5,67	10,09
5	5_2	Sawah	20,21	10,82
6	6_2	Hutan	12,12	7,52
7	7_2	Kebun	9,70	7,39
8	8_2	Tegalan	11,45	11,71
9	9_2	Tegalan	3,56	9,87
10	10_2	Tegalan	4,01	7,57
11	11_2	Tegalan	2,94	9,36
12	12_2	Kebun	2,31	7,20
13	13_2	Tegalan	11,37	7,43
14	14_2	Kebun	7,51	6,21
15	15_2	Kebun	5,64	10,59
16	16_2	Tegalan	10,08	8,19
17	17_2	Tegalan	6,65	12,14
18	18_2	Tegalan	11,07	8,88
19	19_2	Tegalan	4,33	8,70
20	20_2	Semak	15,33	9,71
21	21_2	Kebun	6,40	11,24
22	22_2	Tegalan	10,42	6,46
23	23_2	Kebun	8,92	18,07
24	24_2	Kebun	18,65	9,09
25	25_2	Sawah	8,96	8,94
26	26_2	Hutan	20,93	11,09
27	27_2	Tegalan	21,90	4,14
28	28_2	Tegalan	9,77	14,75
29	29_2	Tegalan	13,72	5,42
30	30_2	Tegalan	10,92	8,07
31	31_2	Tegalan	7,77	7,45
32	32_2	Tegalan	9,92	5,59
33	33_2	Tegalan	4,24	5,88

Lampiran 5. Nilai Digital Citra Landsat 8

No	Kode	Penggunaan Lahan	Kadar Air Tanah (%)	NDVI	NDWI	NDSI	Nilai Spektral							
							Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 6	Band 7	Band 9
1	1_1	Tegalan	10,37	0,64	0,32	-0,32	12,86	10,05	8,49	6,62	30,50	15,77	8,25	0,09
2	2_1	Kebun	10,05	0,12	0,02	-0,02	48,78	45,76	46,69	49,23	62,29	59,57	48,56	0,16
3	3_1	Tegalan	18,20	0,59	0,25	-0,25	13,14	10,50	9,46	8,14	31,43	19,00	10,49	0,14
4	4_1	Tegalan	15,54	0,66	0,31	-0,31	12,44	9,54	8,18	6,63	32,44	17,15	8,05	0,10
5	5_1	Tegalan	3,40	0,64	0,38	-0,38	11,86	8,85	6,73	4,80	22,00	9,88	4,70	0,12
6	6_1	Hutan	8,61	0,25	0,16	-0,16	24,08	21,90	20,44	20,63	34,22	25,00	16,32	0,09
7	7_1	Tegalan	2,68	0,52	0,38	-0,38	13,81	11,06	8,76	6,71	21,10	9,58	4,86	0,11
8	8_1	Tegalan	15,03	0,35	0,15	-0,15	22,41	19,86	19,68	19,42	40,36	29,67	16,78	0,10
9	9_1	Kebun	7,85	0,66	0,26	-0,26	12,36	9,52	8,00	5,85	28,05	16,58	7,60	0,14
10	10_1	Tegalan	11,34	0,53	0,18	-0,18	12,82	10,14	8,97	8,10	26,10	18,12	10,16	0,15
11	11_1	Tegalan	2,61	0,46	0,11	-0,11	13,04	10,36	8,67	8,10	22,05	17,63	11,49	0,04
12	12_1	Tegalan	4,09	0,52	0,16	-0,16	12,82	10,11	8,45	7,70	24,17	17,54	10,56	0,07
13	13_1	Tegalan	4,96	0,70	0,33	-0,33	13,07	9,98	8,53	6,27	35,49	17,99	7,91	0,12
14	14_1	Tegalan	11,30	0,51	0,24	-0,24	13,53	10,77	9,66	8,55	26,34	16,24	9,98	0,10
15	15_1	Kebun	10,05	0,57	0,26	-0,26	12,61	9,86	8,62	7,59	28,14	16,41	9,05	0,10
16	16_1	Tegalan	2,90	0,43	0,20	-0,20	13,55	10,88	9,69	9,28	23,46	15,49	10,48	0,05
17	17_1	Tegalan	13,64	0,52	0,23	-0,23	13,27	10,72	9,68	8,13	25,56	16,02	9,29	0,06
18	18_1	Tegalan	7,56	0,21	0,42	-0,42	13,34	10,65	8,94	8,26	12,59	5,10	2,99	0,14
19	19_1	Tegalan	4,92	0,43	0,36	-0,36	13,00	10,06	7,62	6,02	15,19	7,18	3,72	0,17
20	20_1	Tegalan	4,06	0,66	0,29	-0,29	12,15	9,27	7,53	5,71	28,09	15,33	7,31	0,12
21	21_1	Kebun	19,55	0,70	0,34	-0,34	12,09	9,11	7,73	5,42	30,73	15,00	6,60	0,09
22	22_1	Tegalan	8,60	0,68	0,33	-0,33	14,05	11,01	9,38	6,98	36,90	18,56	8,59	0,10
23	23_1	Tegalan	5,56	0,42	0,15	-0,15	13,35	10,78	9,71	9,35	22,81	17,02	11,42	0,15
24	24_1	Tegalan	11,12	0,52	0,29	-0,29	15,27	12,78	11,43	10,26	32,53	17,98	9,96	0,14
25	25_1	Tegalan	6,88	0,30	0,05	-0,05	13,70	11,28	10,41	11,70	21,55	19,50	14,15	0,11
26	26_1	Hutan	18,76	0,68	0,35	-0,35	12,01	9,26	8,04	5,78	30,33	14,74	6,59	0,07
27	27_1	Tegalan	8,80	0,65	0,31	-0,31	12,95	10,21	8,95	7,43	35,37	18,55	9,18	0,14
28	28_1	Kebun	12,68	0,75	0,43	-0,43	11,98	8,96	7,51	4,83	34,20	13,78	5,62	0,12
29	29_1	Tegalan	6,65	0,31	0,03	-0,03	13,98	11,29	9,91	10,14	19,38	18,27	13,94	0,13
30	30_1	Tegalan	14,57	0,62	0,31	-0,31	12,76	9,90	8,60	7,05	30,31	16,05	8,60	0,08
31	31_1	Tegalan	13,53	0,59	0,28	-0,28	13,92	11,13	9,90	8,64	33,86	19,05	10,16	0,13
32	32_1	Tegalan	9,48	0,61	0,29	-0,29	12,60	9,79	8,18	6,39	26,61	14,56	8,35	0,14
33	33_1	Tegalan	4,11	0,44	0,07	-0,07	13,87	11,14	9,73	9,69	24,91	21,67	13,03	0,11



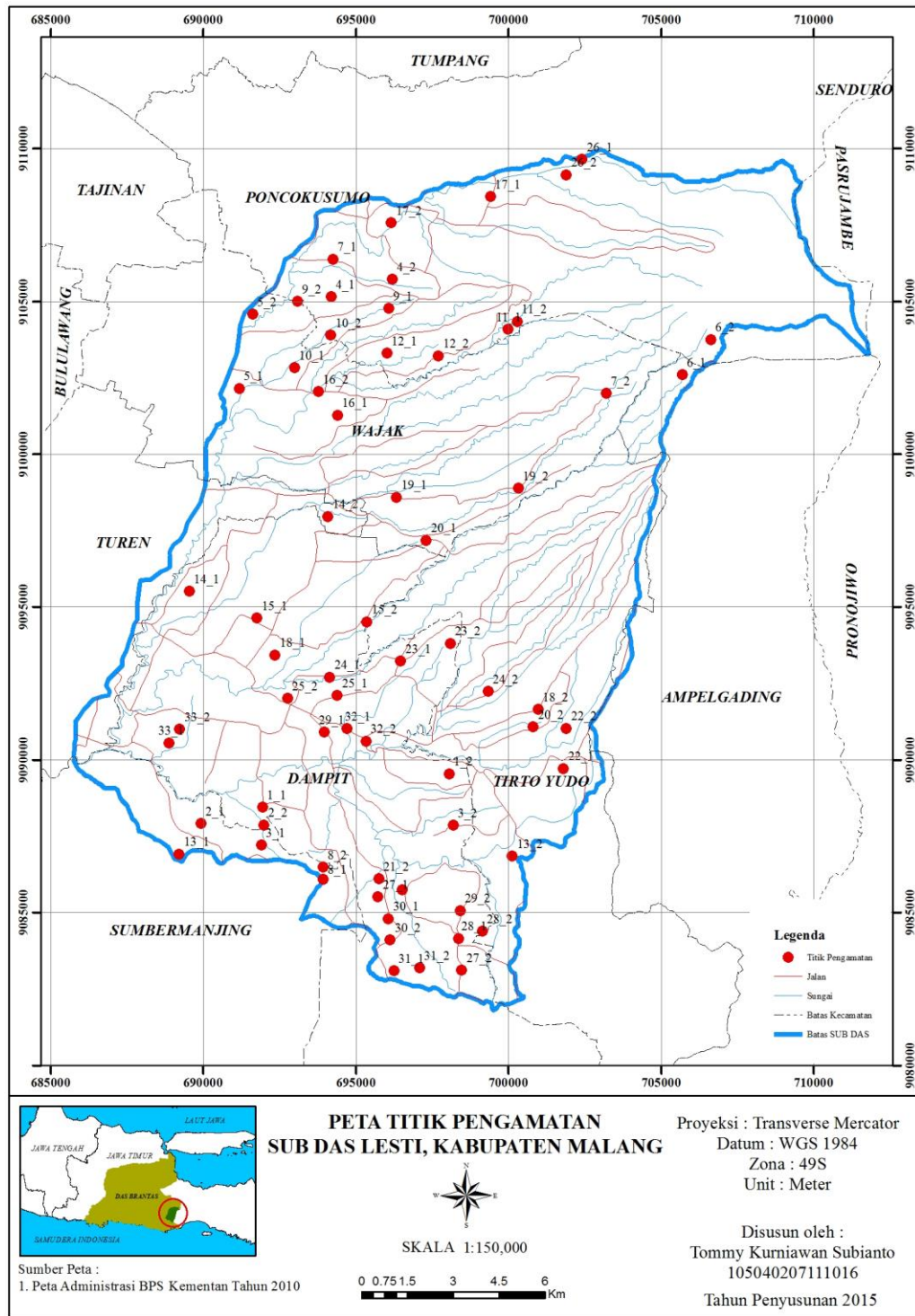
Lampiran 6. Karakteristik Titik Pengamatan

Kode	Kadar Air Tanah (%)	Kode Geologi	Keterangan Geologi	Lereng	Relief	Sub Bentuk Lahan	Ordo Tanah	Penggunaan Lahan
1_1	10,37	Tmw	Formasi Wuni	3-8 %	Bergelombang	Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api	Mollisols	Tegalan
2_1	10,05	Tmwl	Formasi Wonosari	15-25 %	Berbukit Kecil	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Kebun
3_1	18,20	Tmwl	Formasi Wonosari	40-60 %	Berbukit	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
4_1	15,54	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	15-25 %	Bergumuk	Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua	Inceptisols	Tegalan
5_1	3,40	Qptm	Endapan Tuf Gunung Api	0-3 %	Berombak	Dataran Aluvial	Inceptisols	Tegalan
6_1	8,61	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	>60 %	Berbukit	Lereng Volkan Atas Kuarter Muda	Inceptisols	Hutan
7_1	2,68	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	8-15 %	Bergelombang	Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua	Entisols	Tegalan
8_1	15,03	Tmwl	Formasi Wonosari	15-25 %	Berbukit Kecil	Gawir Plateau	Mollisols	Tegalan
9_1	7,85	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	8-15 %	Bergelombang	Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua	Inceptisols	Kebun
10_1	11,34	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	15-25 %	Bergumuk	Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua	Inceptisols	Tegalan
11_1	2,61	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	8-15 %	Bergelombang	Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua	Inceptisols	Tegalan
12_1	4,09	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	15-25 %	Bergumuk	Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua	Inceptisols	Tegalan
13_1	4,96	Tmwl	Formasi Wonosari	8-15 %	Bergelombang	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
14_1	11,30	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	0-3 %	Berombak	Dataran Aluvial	Inceptisols	Tegalan
15_1	10,05	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	3-8 %	Bergelombang	Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda	Inceptisols	Kebun
16_1	2,90	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	3-8 %	Bergelombang	Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua	Inceptisols	Tegalan
17_1	13,64	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	3-8 %	Bergelombang	Lereng Volkan Bawah Kuarter Tua	Alfisols	Tegalan
18_1	7,56	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	3-8 %	Bergelombang	Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda	Inceptisols	Tegalan
19_1	4,92	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	25-40 %	Bergumuk	Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda	Inceptisols	Tegalan
20_1	4,06	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	3-8 %	Bergelombang	Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda	Inceptisols	Tegalan
21_1	19,55	Tmn	Formasi Nampol	8-15 %	Bergelombang	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Kebun
22_1	8,60	Qvs	Endapan Gunung Api Semeru	15-25 %	Bergumuk	Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda	Inceptisols	Tegalan
23_1	5,56	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	0-3 %	Berombak	Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda	Inceptisols	Tegalan
24_1	11,12	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	0-3 %	Berombak	Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda	Inceptisols	Tegalan
25_1	6,88	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	0-3 %	Berombak	Lereng Volkan Bawah Kuarter Muda	Inceptisols	Tegalan
26_1	18,76	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	>60 %	Berbukit	Lereng Volkan Tengah Kuarter Tua	Inceptisols	Hutan
27_1	8,80	Tmn	Formasi Nampol	15-25 %	Bergumuk	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
28_1	12,68	Tmn	Formasi Nampol	15-25 %	Bergumuk	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Kebun
29_1	6,65	Tmw	Formasi Wuni	8-15 %	Bergelombang	Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api	Inceptisols	Tegalan
30_1	14,57	Tmn	Formasi Nampol	15-25 %	Bergumuk	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
31_1	13,53	Tmn	Formasi Nampol	15-25 %	Bergumuk	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
32_1	9,48	Tmw	Formasi Wuni	8-15 %	Bergelombang	Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api	Inceptisols	Tegalan
33_1	4,11	Tmw	Formasi Wuni	8-15 %	Bergelombang	Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api	Inceptisols	Tegalan

Lanjutan

Kode	Kadar Air Tanah (%)	Kode Geologi	Keterangan Geologi	Lereng	Relief	Sub Bentuk Lahan	Ordo Tanah	Penggunaan Lahan
1_2	4,99	Tmw	Formasi Wuni	3-8 %	Bergelombang	Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api	Mollisols	Tegalan
2_2	8,42	Tmwl	Formasi Wonosari	15-25 %	Berbukit Kecil	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Kebun
3_2	10,35	Tmw	Formasi Wuni	8-15 %	Bergelombang	Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api	Mollisols	Semak
4_2	5,67	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	15-25 %	Bergumuk	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Tua	Inceptisols	Tegalan
5_2	20,21	Qvt	Endapan Gunung Api Tengger	0-3 %	Berombak	Dataran Aluvial	Inceptisols	Sawah
6_2	12,12	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	>60 %	Berbukit	Lereng Vulkan Atas Kuartar Muda	Inceptisols	Hutan
7_2	9,70	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	>60 %	Berbukit	Lereng Vulkan Tengah Kuartar Muda	Entisol	Kebun
8_2	11,45	Tmwl	Formasi Wonosari	15-25 %	Berbukit Kecil	Gawir Plateau	Mollisols	Tegalan
9_2	3,56	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	15-25 %	Bergumuk	Dasar Lembah	Inceptisols	Tegalan
10_2	4,01	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	15-25 %	Bergumuk	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Tua	Inceptisols	Tegalan
11_2	2,94	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	8-15 %	Bergelombang	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Tua	Inceptisols	Tegalan
12_2	2,31	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	3-8 %	Bergelombang	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Tua	Inceptisols	Kebun
13_2	11,37	Tmw	Formasi Wuni	25-40 %	Berbukit Kecil	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
14_2	7,51	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	15-25 %	Bergumuk	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Muda	Inceptisols	Kebun
15_2	5,64	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	8-15 %	Bergelombang	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Muda	Inceptisols	Kebun
16_2	10,08	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	3-8 %	Bergelombang	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Tua	Inceptisols	Tegalan
17_2	6,65	Qvt	Endapan Gunung Api Tengger	3-8 %	Bergelombang	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Tua	Alfisols	Tegalan
18_2	11,07	Qvs	Endapan Gunung Api Semeru	3-8 %	Bergelombang	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Muda	Inceptisols	Tegalan
19_2	4,33	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	25-40 %	Bergumuk	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Muda	Inceptisols	Tegalan
20_2	15,33	Qvs	Endapan Gunung Api Semeru	15-25 %	Bergumuk	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Muda	Inceptisols	Semak
21_2	6,40	Tmw	Formasi Wuni	3-8 %	Bergelombang	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Kebun
22_2	10,42	Qvs	Endapan Gunung Api Semeru	15-25 %	Bergumuk	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Muda	Inceptisols	Tegalan
23_2	8,92	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	0-3 %	Berombak	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Muda	Inceptisols	Kebun
24_2	18,65	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	8-15 %	Bergelombang	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Muda	Inceptisols	Kebun
25_2	8,96	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	0-3 %	Berombak	Lereng Vulkan Bawah Kuartar Muda	Inceptisols	Sawah
26_2	20,93	Qvj	Endapan Gunung Api Jembangan	40-60 %	Berbukit	Lereng Vulkan Tengah Kuartar Tua	Alfisols	Hutan
27_2	21,90	Tmn	Formasi Nampol	15-25 %	Bergumuk	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
28_2	9,77	Tmn	Formasi Nampol	15-25 %	Bergumuk	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
29_2	13,72	Tmwl	Formasi Wonosari	15-25 %	Berbukit Kecil	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
30_2	10,92	Tmn	Formasi Nampol	15-25 %	Bergumuk	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
31_2	7,77	Tmn	Formasi Nampol	15-25 %	Bergumuk	Perbukitan Tektonik Batu Gamping	Mollisols	Tegalan
32_2	9,92	Tmw	Formasi Wuni	8-15 %	Bergelombang	Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api	Inceptisols	Tegalan
33_2	4,24	Tmw	Formasi Wuni	8-15 %	Bergelombang	Dataran Tektonik Bergelombang Hasil Gunung Api	Inceptisols	Tegalan

Lampiran 7. Peta Titik Pengamatan Survei



**Lampiran 8. Dokumentasi Penelitian**



(a) Tegalan



(b) Agroforestri



(c) Sawah



(d) Kebun



(e) Hutan