

**IDENTIFIKASI PERUBAHAN KERAPATAN HUTAN DENGAN METODE
FOREST CANOPY DENSITY MENGGUNAKAN CITRA LANDSAT 8
TAHUN 2013, 2015 DAN 2018 (STUDI KASUS : TAMAN NASIONAL
GUNUNG MERBABU, JAWA TENGAH)**

Welman Manuel Sitorus^{*)}, Abdi Sukmono, Nurhadi Bashit

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : welman.manuel10@gmail.com ^{*)}

ABSTRAK

Hutan adalah suatu tempat yang mempunyai berbagai macam jenis tumbuh-tumbuhan yang lebat diantaranya adalah pohon, rumput, semak, jamur, paku-pakuan dan sebagainya yang menempati daerah sangat luas. Hutan memiliki fungsi sebagai paru-paru dunia dan sistem penyangga kehidupan sehingga kelestariannya harus dijaga dan dipertahankan dengan pembangunan hutan yang tepat. Kawasan hutan yang terdapat pada Taman Nasional Gunung Merbabu memiliki luas 5.820,49 Ha sehingga perlunya pemantauan terhadap kondisi hutan. Pemantauan kondisi hutan dapat menggunakan penginderaan jauh. Penelitian ini menggunakan teknologi penginderaan jauh dikarenakan memberikan solusi untuk pemantauan hutan dalam skala luas. Metode yang digunakan adalah metode *Forest Canopy Density* (FCD). Metode FCD merupakan metode yang cukup baik untuk memantau perubahan kerapatan hutan dikarenakan menggunakan 4 indeks yang berkaitan dengan indeks tutupan vegetasi hutan yaitu *Advanced Vegetation Index* (AVI), *Bare Soil Index* (BI), *Shadow Index* (SI) dan *Thermal Index* (TI). Metode FCD memberikan hasil akurasi yang baik dalam pemantauan kerapatan hutan sehingga dapat dimanfaatkan dalam penelitian ini. Penelitian ini menggunakan data citra satelit Landsat 8 dengan daerah Taman Nasional Gunung Merbabu sebagai studi kasusnya. Berdasarkan hasil penelitian ini menunjukkan adanya perubahan kerapatan hutan pada tahun 2013, 2015 dan 2018. Pada tahun 2013 hingga tahun 2015 kerapatan rendah mengalami penurunan sebesar 251,09 Ha, kerapatan sedang mengalami penurunan sebesar 801,5 Ha dan kerapatan tinggi mengalami peningkatan sebesar 1.089,72 Ha. Pada tahun 2015 hingga tahun 2018 kerapatan rendah mengalami penurunan sebesar 43,2 Ha, kerapatan sedang mengalami penurunan sebesar 237,51 Ha dan kerapatan tinggi mengalami peningkatan sebesar 280,71 Ha.

Kata Kunci : Citra Landsat 8, *Forest Canopy Density*, Kerapatan Hutan, Taman Nasional Gunung Merbabu.

ABSTRACT

Forest is a place that has various types of dense plants including trees, grasses, shrubs, mushrooms, ferns and others which occupy a very large area. Forests have a function as the world's lungs and life support systems so that their preservation must be kept and maintained by proper forest development. The forest area which is located in Gunung Merbabu National Park has an 5.820,49 Ha that requires monitoring of forest conditions. Monitoring of forest conditions can use remote sensing. This study uses remote sensing technology because it provides solutions for forest monitoring on a large scale. The method used is the Forest Canopy Density (FCD) method. The FCD method is a good enough to monitor the changes in forest density because it uses 4 indices relating to the forest vegetation cover index, such as the Advanced Vegetation Index (AVI), Bare Soil Index (BI), Shadow Index (SI) and Thermal Index (IT). The FCD method provides good accuracy in monitoring forest density so that it can be used in this study. This study uses Landsat 8 satellite imagery data with the Gunung Merbabu National Park area as a study case. Based on this study results indicate a change of forest density in 2013, 2015 and 2018. In 2013 until 2015 the low of forest density decreased by 251,09 Ha, moderate density decreased by 801,5 Ha and high density increased of 1.089,72 Ha. In 2015 until 2018, the low density has decreased by 43,2 Ha, moderate density has decreased by 237,51 Ha and a high density has increased by 280,71 Ha.

Keywords: Landsat 8 Image, *Forest Canopy Density*, Forest Density, Mount Merbabu National Park.

^{*)} Penulis Utama, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Kawasan hutan di Indonesia mencapai luas 134 juta hektar atau sekitar 60 persen dari luas total Indonesia. Luas kawasan hutan di Indonesia terus mengalami penurunan mencapai 1,09 juta hektar setiap tahunnya (Departemen Kehutanan, 2007). Salah satu penyebab kerusakan hutan ini adalah penebangan liar. Menurut data yang dirilis Badan Pangan dan Pertanian Dunia (FAO) berdasarkan data dari *Global Forest Resources Assesment* (FRA), Indonesia menempati peringkat kedua dunia tertinggi kehilangan hutan setelah Brasil yang berada di urutan pertama.

Di Indonesia, kebakaran hutan telah menjadi masalah serius yang sampai saat ini belum dapat diatasi dengan baik. Statistik menunjukkan bahwa masalah kebakaran hutan setiap tahun semakin meningkat. Daerah yang terkena dampak kebakaran hutan salah satunya terjadi di kawasan Taman Nasional Gunung Merbabu. Berdasarkan data statistik Balai Taman Nasional Gunung Merbabu pada tahun 2011 telah terjadi kebakaran hutan dengan luas 630,9 hektar, tahun 2012 dengan luas 41 hektar, tahun 2013 dengan luas 31,197 hektar serta pada tahun 2014 dengan luas 151,98 hektar (BTNG Merbabu, 2015).

Taman Nasional Gunung Merbabu merupakan taman nasional yang mencakup kawasan hutan di Gunung Merbabu. Secara administratif, taman nasional ini termasuk ke dalam wilayah 3 (tiga) kabupaten yaitu Kabupaten Boyolali, Kabupaten Magelang, dan Kabupaten Semarang, Provinsi Jawa Tengah. Kawasan Taman Nasional Gunung Merbabu ditunjuk berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan Nomor SK.3623/Menhut-VII/KUH/2014 tanggal 6 Mei 2014 tentang perubahan fungsi kawasan hutan lindung dan taman wisata alam pada kawasan hutan Merbabu seluas 5.820,49 hektar (BTNG Merbabu, 2015).

Kawasan hutan telah mengalami gangguan akibat dari kegiatan seperti kebakaran hutan, alih fungsi hutan yang menyebabkan terjadinya perubahan kondisi hutan. Teknologi penginderaan jauh mengalami perkembangan yang sangat pesat dapat digunakan dalam pemantauan kondisi hutan. Salah satu caranya dengan menggunakan metode *Forest Canopy Density* yang diperkenalkan oleh Atsushi Rikimaru.

Metode *Forest Canopy Density* merupakan salah satu metode yang cukup baik untuk memantau perubahan kerapatan hutan. Perubahan kerapatan kanopi hutan harus dipertimbangkan untuk tujuan pengelolaan hutan yang lebih baik. Pemantauan kerapatan kanopi hutan dapat dijadikan parameter untuk menilai perubahan kondisi hutan dari waktu ke waktu.

I.2 Perumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kerapatan hutan yang ada di Taman Nasional Gunung Merbabu berdasarkan analisis metode *Forest Canopy Density* menggunakan citra Landsat 8 pada tahun 2013, 2015 dan 2018?

2. Berapa besar perubahan kerapatan hutan yang terjadi pada tahun 2013-2015 dan 2015-2018?
3. Bagaimana tingkat ketelitian metode *Forest Canopy Density* untuk mendeteksi kerapatan hutan di Taman Nasional Gunung Merbabu?

I.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengetahui kerapatan hutan di Taman Nasional Gunung Merbabu pada tahun 2013, 2015, dan 2018 dari citra Landsat 8.
2. Mengetahui perubahan kerapatan hutan dari tahun 2013-2015 dan 2015-2018 di wilayah Taman Nasional Gunung Merbabu.
3. Mengetahui tingkat ketelitian metode *Forest Canopy Density* sebagai metode untuk mendeteksi kerapatan hutan.

II. Tinjauan Pustaka

II.1 Hutan

Menurut Undang-Undang No. 41 tahun 1999 tentang Kehutanan, hutan adalah suatu ekosistem berupa hamparan lahan berisi sumber daya alam hayati yang didominasi pepohonan dalam persekutuan alam lingkungan, yang satu dengan yang lainnya tidak dapat dipisahkan (Departemen Kehutanan, 1999).

II.2 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik ditujukan untuk memperbaiki nilai piksel agar sesuai dengan yang seharusnya yang biasanya mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama, dan juga untuk menghilangkan atau meminimalisir kesalahan radiometrik akibat aspek eksternal berupa gangguan atmosfer pada saat proses perekaman (Soenarmo, 2009).

II.3 Forest Canopy Density (FCD)

Forest Canopy Density (FCD) merupakan metode perhitungan yang digunakan untuk menghitung kerapatan tutupan vegetasi dengan cara menggunakan dan mengintegrasikan 4 indeks yang berkaitan dengan indeks tutupan vegetasi hutan (Rikimaru, 2002).

1. *Advanced Vegetation Index* (AVI) atau Indeks Vegetasi

Menghitung nilai AVI dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$B_{54} = B_5 - B_4 \dots \dots \dots (II.1)$$

$$\text{Kasus a : } B_{54} < 0 \text{ AVI} = 0 \dots \dots \dots (II.2)$$

$$\text{Kasus b : } B_{54} > 0 \text{ AVI} = ((B_5 + 1) \times (256 - B_4) \times B_{54})^{1/3} (II.3)$$

dimana : $B_5 = \text{Band NIR}$ $B_4 = \text{Band Red}$

2. *Bare Soil Index* (BI) atau Indeks Tanah Terbuka

Menghitung nilai BI dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$BI = (((B_6 + B_4)(B_5 + B_2)) / ((B_6 + B_4) + (B_5 + B_2))) \times 100 + 100 \dots (II.4)$$

dimana : $B_6 = \text{Band SWIR 1}$ $B_5 = \text{Band NIR}$
 $B_4 = \text{Band Red}$ $B_2 = \text{Band Blue}$

3. *Shadow Index* (SI) atau Indeks Bayangan

Menghitung nilai SI dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$SI = ((256 - B_2) \times (256 - B_3) \times (256 - B_4))^{1/3} \dots \dots \dots (II.5)$$

dimana : $B_4 = \text{Band Red}$ $B_3 = \text{Band Green}$
 $B_2 = \text{Band Blue}$

4. *Thermal/Temperature Index* (TI) atau Indeks Suhu
Perhitungan TI dilakukan melalui 2 tahap, yaitu mengubah kanal *thermal* menjadi radian dan melakukan perhitungan T dengan rumus :

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \dots\dots\dots (II.6)$$

dimana : T = Suhu radian dalam satuan Kelvin (K)
K1 = Konstanta kalibrasi radian spektral (W/m².sr.µm)
K2 = Konstanta kalibrasi suhu absolut
Lλ = Nilai radian spektral

Pada kawasan hutan yang memiliki pohon-pohon yang tinggi dan rapat, akan menyebabkan nilai AVI dan SI yang tinggi, sebaliknya akan terjadi nilai yang rendah untuk BI dan TI. Demikian juga pada kawasan hutan yang sudah terbuka dimana kondisi pohon-pohonnya yang relatif jarang akan menyebabkan meningkatnya nilai BI dan TI serta menurunnya nilai AVI dan SI (Rikimaru dan Miyatake, 1996), (Roy, dkk. 1997).

5. *Vegetation Density* (VD)

Vegetation Density (VD) diturunkan melalui perpaduan dengan menerapkan *Principal Component Analysis* (PCA) antara AVI dan BI. Berdasarkan analisis PCA ini kemudian ditentukan titik 0% dan titik 100% untuk menghasilkan citra baru yang disebut dengan VD. Citra hasil PCA ini kemudian dinormalisasikan untuk menghasilkan citra *Vegetation Density*. Proses normalisasi menggunakan rumus :

$$Normalisasi VD = \frac{(B1 - \min) \times (max' - \min')}{max - \min} \dots\dots\dots (II.7)$$

dimana : B1 = Nilai digital untuk citra hasil *cross index* AVI dan BI (citra hasil PCA)
Max = Nilai maksimum pada citra
Min = Nilai minimum pada citra
Max' = Nilai maksimum normalisasi
Min' = Nilai minimum normalisasi

6. *Scaled Shadow Index* (SSI)

Scaled Shadow Index (SSI) diturunkan melalui perpaduan dengan menerapkan *Principal Component Analysis* (PCA) antara SI dan TI. Proses *cross index* citra SI dan TI akan menghasilkan satu citra baru dengan kandungan informasi terbaik dari keduanya. Citra hasil PCA ini kemudian dinormalisasikan kedalam rentang 0-100. Proses normalisasi menggunakan rumus :

$$Normalisasi SSI = \frac{(B1 - \min) \times (max' - \min')}{max - \min} \dots\dots\dots (II.8)$$

dimana : B1 = Nilai digital untuk citra hasil *cross index* SI dan TI (citra hasil PCA)

7. *Forest Canopy Density* (FCD)

Perhitungan nilai FCD menggunakan rumus :

$$FCD = \sqrt{SSI + VD + 1} - 1 \dots\dots\dots (II.9)$$

dimana : SSI = Hasil pengolahan SSI
VD = Hasil pengolahan VD

II.4 **Klasifikasi Penutup Lahan**

Klasifikasi penutupan lahan menggunakan kelas (kategori) Departemen Kehutanan Tahun 2004 dan estimasi kerapatan tajuk menggunakan lensa kamera berdasarkan Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 3 Tahun 2014.

Tabel.1 Klasifikasi Penutup Lahan (Departemen Kehutanan, 2004)

Kelas	Keterangan
Kerapatan Rendah	< 50%
Kerapatan Sedang	50%-70%
Kerapatan Tinggi	>70%

II.5 **Uji Regresi**

Uji regresi dilakukan untuk mendapatkan model hubungan antara variabel X (nilai FCD) dengan variabel Y (nilai *thresholding* foto hasil validasi lapangan). Hasil dari uji regresi akan diperoleh model hubungan variabel dan nilai koefisien determinasi (R²).

III. **Metodologi Penelitian**

III.1 **Data dan Peralatan**

Data dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini:

1. Data

Data yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

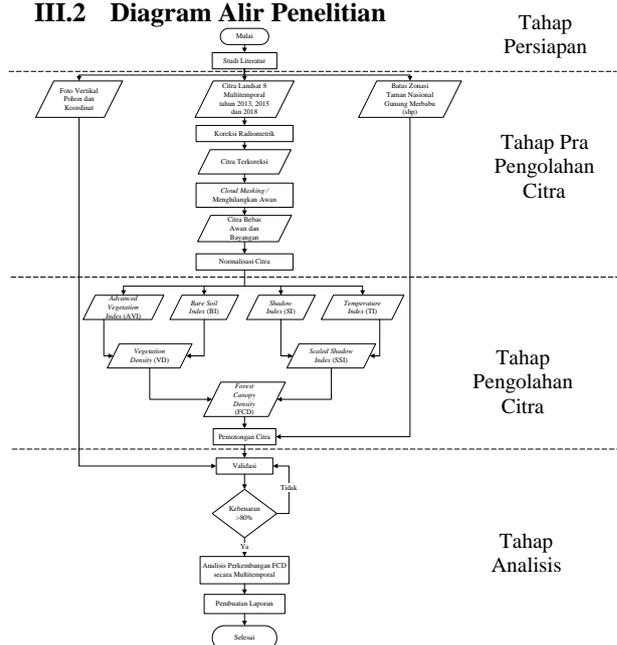
- a. Data citra Landsat 8 Level 1 Tahun 2013, 2015 dan 2018 yang diperoleh dari website <https://www.earthexplorer.usgs.gov>
- b. Data batas zonasi Taman Nasional Gunung Merbabu dalam bentuk *shapefile* yang diperoleh dari Balai Taman Nasional Gunung Merbabu.
- c. Data foto vertikal pohon menggunakan kamera DSLR dan pengambilan koordinat menggunakan GPS *Handheld*.

2. Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terbagi menjadi 2, yaitu:

- a. Peralatan Pengolahan Data
 - Laptop *HP Intel (R) Core TM Duo i3-2348 CPU @ 2.30Ghz RAM 4,00 GB, Hardisk 1TB*
 - *Software* ENVI, ArcGIS, Microsoft Office, Easy GPS
- b. Peralatan Pengukuran Lapangan
 - GPS *Handheld*, Kamera DSLR.

III.2 **Diagram Alir Penelitian**



Gambar.1 Diagram Alir Penelitian

III.3 Tahap Pra-Pengolahan

III.3.1 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik dibedakan menjadi 2 langkah, yaitu kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer. Kalibrasi radiometrik adalah mengkonversi nilai data citra asli dari DN (*Digital Number*) ke nilai radian atau reflektan ToA (*Top of Atmospheric*) dan ke *brightness temperature* (untuk kanal *Thermal*). Koreksi radiometrik dilakukan terhadap citra tahun 2013, 2015 dan 2018 dengan menggunakan 6 band yakni *band 2, band 3, band 4, band 5, band 6* dan *band 10*.

III.3.2 Cloud Masking atau Menghilangkan Awan

Cloud masking menggunakan BQA lebih baik digunakan pada citra yang bersih dari awan tipis namun ada cara lain untuk proses *cloud masking*, yakni menggunakan hubungan antara reflektan antara band biru dengan *Land Surface Water Index* (LSWI) dimana awan ditunjukkan oleh reflektan biru $\geq 0,2$ dan LSWI bernilai positif. *Masking* menggunakan metode ini lebih baik digunakan pada citra yang mengandung awan tipis.

III.3.3 Normalisasi Rentang Citra

Normalisasi rentang citra dilakukan untuk mengubah rentang pada citra Landsat 8 dengan rentang 0-65535 (16bit) menjadi rentang 0-255 (8bit) melalui proses *stretch data* pada tiap *band*.

III.4 Tahap Pengolahan

Berikut merupakan tahapan pengolahan untuk mendapatkan nilai FCD.

III.4.1 Advanced Vegetation Index (AVI) atau Indeks Vegetasi.

Pengolahan AVI akan menonjolkan karakteristik dari objek vegetasi menggunakan *band 4* dan *band 5* seperti pada rumus II.3.

III.4.2 Bare Soil Index (BI) atau Indeks Tanah Terbuka.

Pengolahan BI memformulasikan informasi yang berasal dari inframerah untuk perkiraan status vegetasi yang lebih handal menggunakan *band 2, band 4, band 5* dan *band 6* seperti pada rumus II.4.

III.4.3 Shadow Index (SI) atau Indeks Bayangan.

Pengolahan SI memanfaatkan informasi spektral dari bayangan hutan dan informasi suhu hutan yang dipengaruhi oleh bayangan untuk mendapatkan informasi struktur hutan menggunakan *band 2, band 3* dan *band 4* seperti pada rumus II.5.

III.4.4 Thermal Index (TI) atau Indeks Suhu.

Pengolahan TI dilakukan dengan 2 tahap yakni menggunakan nilai radian spektral dan konversi nilai menjadi *Thermal Index* dengan memanfaatkan *band 10* seperti pada rumus II.6.

III.4.5 Masking Nilai NaN

Proses *masking* dilakukan pada citra yang memiliki nilai piksel NaN yang dapat mengganggu proses selanjutnya. Nilai NaN yang akan di *masking* akan mengalami perubahan nilai menjadi 0 (nol).

III.4.6 Vegetation Density atau Kerapatan Vegetasi

Citra AVI dan BI dilakukan proses *masking* untuk menghilangkan nilai NaN dan mengganti nilainya menjadi 0. Hasil kedua citra tersebut dilakukan proses *layer stacking* sebelum masuk proses analisis

PCA. Hasil analisis PCA kemudian dinormalisasikan untuk menghasilkan citra VD rumus II.7.

III.4.7 Scaled Shadow Index atau Index Bayangan Tajuk

SSI merupakan nilai *cross index* antara SI dan TI dimana kedua indeks tersebut memiliki korelasi yang kuat dan berhubungan negatif. SSI diperoleh dari hasil analisis PCA yang kemudian dinormalisasi seperti pada rumus II.8.

III.4.8 Forest Canopy Density atau Kerapatan Hutan

Pengolahan FCD dilakukan setelah mendapatkan nilai VD dan SSI yang kemudian diturunkan menggunakan rumus II.9.

III.4.9 Cropping atau Pemotongan Citra

Pemotongan citra dilakukan untuk memfokuskan daerah penelitian sesuai dengan batas administrasi yang berlaku. Pemotongan menggunakan *shapefile* zonasi Taman Nasional Gunung Merbabu.

III.4.10 Klasifikasi FCD

Klasifikasi pada hasil pengolahan *Forest Canopy Density* (FCD) dilakukan untuk membagi hasil olahan sesuai dengan kelas kerapatan yang disesuaikan dengan parameter yang telah ditentukan dalam klasifikasi penutupan lahan dari Departemen Kehutanan dan estimasi kerapatan tajuk menggunakan lensa dari Perka Badan Informasi Geospasial No. 3 Tahun 2014 seperti pada Tabel.1.

III.5 Tahap Analisis

III.5.1 Validasi Data

Validasi data dilakukan untuk memastikan apakah data yang diolah dalam penelitian memenuhi kriteria dengan data dilapangan. Validasi dalam penelitian ini dilakukan dengan mengambil foto kanopi pohon secara vertikal dari bawah dengan menggunakan kamera. Pengolahan hasil foto dilakukan dengan menggunakan fitur *Band Threshold to ROI* pada *software* ENVI. *Thresholding* merupakan salah satu metode segmentasi citra dimana prosesnya didasarkan pada perbedaan derajat keabuan citra.

Pengolahan foto dengan metode *thresholding* pada penelitian ini untuk membedakan objek pohon dengan langit. Objek pohon akan digambarkan dengan tingkat keabuan yang lebih tinggi/gelap sedangkan untuk objek langit tingkat keabuan akan lebih rendah/terang.

IV. Hasil dan Analisis

IV.1 Hasil Koreksi Radiometrik

Berikut merupakan hasil dan analisis koreksi radiometrik tahun 2013, 2015 dan 2018.

1. Hasil Koreksi Radiometrik Tahun 2013

Tabel.2 Hasil Koreksi Radiometrik Tahun 2013

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
<i>Band 2</i>	0,000000	0,510764	0,093956	0,024629
<i>Band 3</i>	0,000000	0,525168	0,088219	0,026295
<i>Band 4</i>	0,000000	0,549409	0,078079	0,032584
<i>Band 5</i>	0,000000	0,566634	0,270857	0,069144
<i>Band 6</i>	0,000000	0,939121	0,175743	0,051715
<i>Band 10</i>	0,000000	12,067369	9,696164	1,820737

2. Hasil Koreksi Radiometrik Tahun 2015

Tabel.3 Hasil Koreksi Radiometrik Tahun 2015

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 2	0,000000	0,614311	0,102665	0,014492
Band 3	0,000000	0,707947	0,093818	0,017922
Band 4	0,000000	0,759695	0,085045	0,025755
Band 5	0,000000	0,863259	0,253175	0,042524
Band 6	0,000000	1,299116	0,172587	0,037051
Band 10	0,000000	11,446091	9,386820	0,658952

3. Hasil Koreksi Radiometrik Tahun 2018

Tabel.4 Hasil Koreksi Radiometrik Tahun 2018

Basic Stats	Min	Max	Mean	Stdev
Band 2	0,000000	0,435171	0,089629	0,014504
Band 3	0,000000	0,471453	0,081324	0,017852
Band 4	0,000000	0,541734	0,068384	0,025300
Band 5	0,000000	0,591986	0,265274	0,050594
Band 6	0,000000	0,879575	0,160610	0,039253
Band 10	0,000000	11,236681	9,313662	0,650937

Koreksi radiometrik dilakukan untuk mengubah nilai *Digital Number* (DN) ke dalam nilai TOA *Reflectance*. Hasil koreksi radiometrik dari citra satelit Landsat 8 pada tahun 2013, 2015 dan 2018 yang terdiri dari nilai *min*, *max*, *mean* dan *stdev* dapat diterima dan memenuhi syarat untuk proses selanjutnya.

IV.2 Hasil Cloud Masking

Berikut merupakan hasil cloud masking tahun 2013, 2015 dan 2018.

IV.2.1 Hasil Cloud Masking Tahun 2013

Pada citra tahun 2013 diperlukan proses *cloud masking* dikarenakan terdapat gangguan berupa awan pada daerah puncak gunung dan awan yang mengarah ke daerah Magelang.

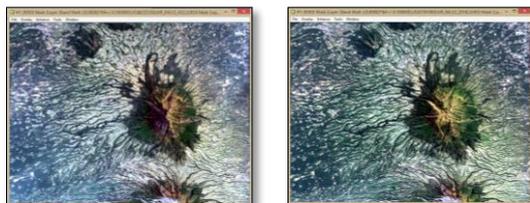


(a) Sebelum *Cloud Masking* (b) Sesudah *Cloud Masking*

Gambar.2 Hasil *Cloud Masking*

IV.2.2 Hasil Cloud Masking Tahun 2015 dan 2018

Pada citra tahun 2015 dan 2018 tidak diperlukan proses *cloud masking* dikarenakan lokasi penelitian bersih dari gangguan awan.

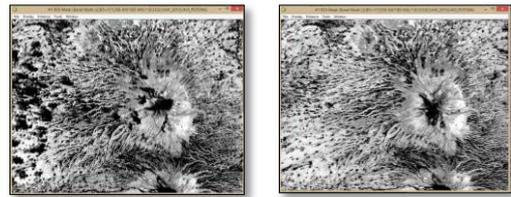


(a) Tahun 2015 (b) Tahun 2018

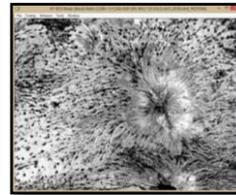
Gambar.3 Hasil *Cloud Masking*

IV.3 Hasil *Advanced Vegetation Index* (AVI)

Berdasarkan rumus II.3 diperoleh hasil AVI seperti pada Gambar.4.



(a) Tahun 2013 (b) Tahun 2015



(c) Tahun 2018

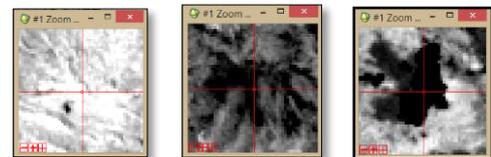


Gambar.4 Hasil *Advanced Vegetation Index*

Tabel.5 Rentang Nilai AVI

Tahun	Rentang Nilai AVI	
	Min	Max
2013	0,000000	229,794
2015	0,000000	237,562
2018	0,000000	236,714

Nilai AVI berbanding terbalik dengan nilai BI. Semakin tinggi nilai AVI maka menandakan daerah tersebut merupakan objek vegetasi dan ditandai dengan rona cerah. Nilai AVI yang tinggi menandakan nilai FCD yang tinggi. Pada titik tersebut diketahui bahwa nilai AVI sebesar 221,65. Hal ini membuktikan bahwa titik tersebut merupakan daerah objek vegetasi dan ditandai dengan rona cerah.



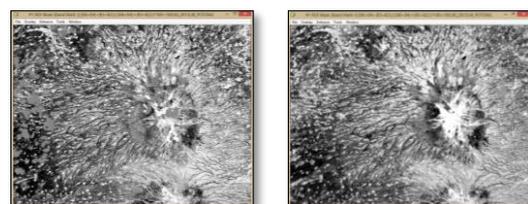
(a) Tinggi (b) Rendah (c) Awan

Gambar.5 Visualisasi Nilai AVI

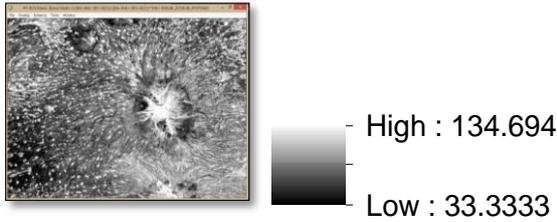
Semakin rendah nilai AVI maka menandakan bahwa daerah tersebut merupakan objek tidak vegetasi/tanah terbuka dan ditandai dengan rona gelap. Pada titik berikut diketahui bahwa nilai AVI sebesar 29,87. Hal ini membuktikan bahwa daerah tersebut merupakan objek tidak vegetasi/ tanah terbuka ditandai dengan rona gelap. Pada daerah yang tertutup oleh awan maka nilai AVI diketahui berupa 0 atau NaN.

IV.4 Hasil *Bare Soil Index* (BI)

Berdasarkan rumus II.4 diperoleh hasil BI seperti pada Gambar.6.



(a) Tahun 2013 (b) Tahun 2015

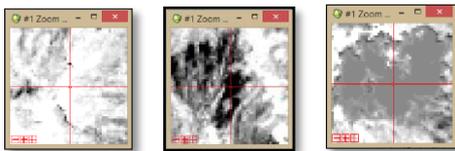


(c) Tahun 2018
Gambar.6 Hasil *Bare Soil Index*

Tabel.6 Rentang Nilai BI

Tahun	Rentang Nilai BI	
	Min	Max
2013	73,2026	164,602
2015	56,6964	144,843
2018	33,3333	134,694

Nilai BI akan memenuhi syarat jika $0 < BI < 200$. Semakin tinggi nilai BI maka akan menunjukkan objek tanah terbuka/tidak vegetasi dan semakin cerah rona. Pada titik berikut diketahui bahwa nilai BI sebesar 123,05. Hal ini membuktikan bahwa nilai BI memenuhi syarat dan menandakan bahwa titik tersebut merupakan objek tanah terbuka karena berona cerah.

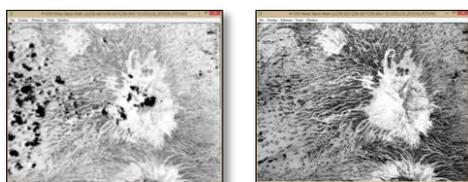


(a) Tinggi (b) Rendah (c) Awan
Gambar.7 Visualisasi Nilai BI

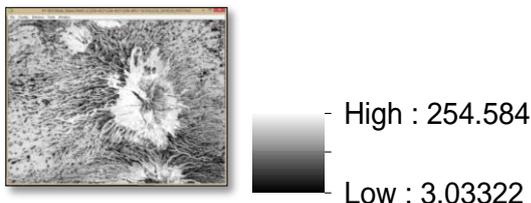
Semakin rendah nilai BI maka akan menunjukkan objek vegetasi/tidak tanah terbuka dan semakin gelap rona. Pada titik berikut diketahui bahwa nilai BI sebesar 64,68. Nilai BI yang rendah menunjukkan bahwa nilai FCD tinggi. Hal ini membuktikan bahwa nilai BI memenuhi syarat dan menandakan bahwa titik tersebut merupakan objek vegetasi/tidak tanah terbuka karena berona gelap. Pada daerah yang memiliki awan maka BI akan bernilai 100.

IV.5 Hasil Shadow Index (SI)

Berdasarkan rumus II.5 diperoleh hasil SI seperti pada Gambar.8.



(a) Tahun 2013 (b) Tahun 2015

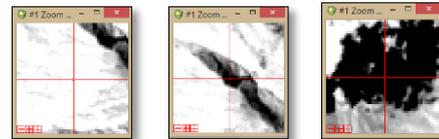


(c) Tahun 2018
Gambar.8 Hasil *Shadow Index*

Tabel.7 Rentang Nilai SI

Tahun	Rentang Nilai SI	
	Min	Max
2013	1,0000	254,584
2015	17,0362	254,584
2018	3,03322	254,584

Semakin tinggi nilai bayangan akan menunjukkan objek vegetasi dan ditandai dengan rona cerah. Nilai SI yang tinggi menunjukkan bahwa nilai FCD tinggi. Pada titik berikut diketahui bahwa nilai SI sebesar 251,91 dan termasuk nilai yang tinggi. Hal ini membuktikan bahwa titik tersebut menunjukkan objek vegetasi dan ditandai dengan rona cerah.

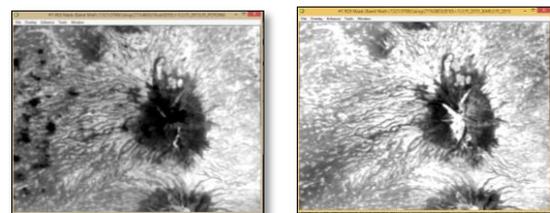


(a) Tinggi (b) Rendah (c) Awan
Gambar.9 Visualisasi Nilai SI

Semakin rendah nilai bayangan akan menunjukkan bahwa objek tersebut berupa padang rumput atau tanah terbuka. Nilai SI yang rendah ditandai dengan rona yang tidak terlalu terang atau sedikit gelap. Pada titik berikut diketahui bahwa nilai SI sebesar 52,64 dan termasuk nilai yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa lokasi tersebut merupakan padang rumput atau tanah terbuka dan ditandai dengan rona yang sedikit gelap. Pada daerah yang memiliki awan maka SI akan bernilai 1.

IV.6 Hasil Thermal Index (TI)

Berdasarkan rumus II.6 diperoleh hasil TI seperti pada Gambar.10.



(a) Tahun 2013 (b) Tahun 2015

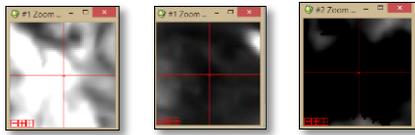


(c) Tahun 2018
Gambar.10 Hasil *Thermal Index*

Tabel.8 Rentang Nilai TI

Tahun	Rentang Nilai TI (°K)	
	Min	Max
2013	276,32	311,775
2015	288,651	312,332
2018	287,152	303,632

Suhu tinggi ditemukan pada objek tidak vegetasi/tanah terbuka yang ditandai dengan rona terang. Misalnya pada titik tersebut diketahui bahwa nilai suhu sebesar 309,94° Kelvin atau sama dengan 36,79° Celcius. Semakin tinggi nilai suhu maka warna rona semakin terang dan membuktikan bahwa lokasi tersebut merupakan objek vegetasi/tanah terbuka.

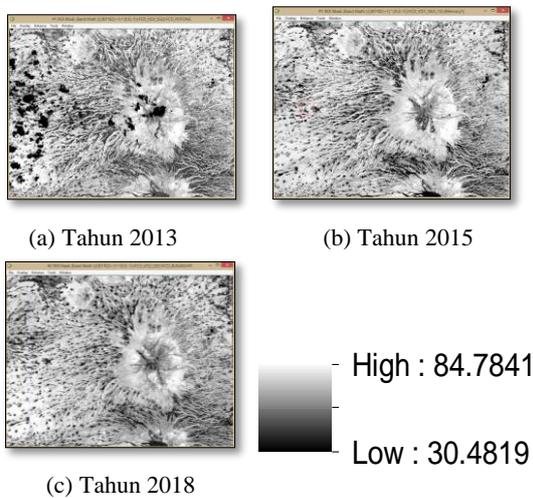


(a) Tinggi (b) Rendah (c) Awan
Gambar.11 Visualisasi Nilai TI

Suhu rendah ditemukan pada objek vegetasi yang ditandai dengan rona gelap. Semakin rendah suhu maka nilai FCD akan tinggi. Misalnya pada titik tersebut diketahui bahwa nilai suhu sebesar 288,65° Kelvin atau sama dengan 15,5° Celcius. Semakin rendah nilai suhu maka warna rona semakin gelap dan membuktikan bahwa titik tersebut merupakan objek vegetasi. Pada daerah yang tertutup oleh awan tidak memiliki nilai suhu dikarenakan pada saat proses *cloud masking* nilai awan diubah menjadi 0.

IV.7 Hasil Forest Canopy Density (FCD)

Nilai FCD diperoleh setelah mendapatkan nilai VD dan SSI pada rumus II.9 dan diperoleh hasil seperti Gambar.12.



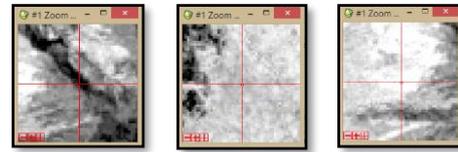
(a) Tahun 2013 (b) Tahun 2015
(c) Tahun 2018
Gambar.12 Hasil Forest Canopy Density

Tabel.9 Rentang Nilai FCD

Tahun	Rentang Nilai FCD (%)	
	Min	Max
2013	28,3937	80,0100
2015	34,8219	82,8196
2018	30,4819	84,7841

Kerapatan rendah ditandai dengan nilai FCD yang rendah ($\leq 50\%$) dan divisualisasikan dengan rona gelap. Semakin gelap rona maka semakin rendah nilai FCD dan semakin rendah kerapatan hutan. Pada titik berikut diketahui bahwa nilai FCD sebesar 38,99% yang dimana nilai tersebut masuk dalam kelas kerapatan rendah dan ditandai dengan rona yang gelap.

Kerapatan sedang ditandai dengan nilai FCD dengan rentang (50%-70%) dan divisualisasikan dengan rona yang tidak terlalu terang dan tidak terlalu gelap. Pada titik berikut diketahui bahwa nilai FCD sebesar 65,71% yang dimana nilai ini termasuk dalam kelas kerapatan sedang dan ditandai dengan rona yang tidak terlalu gelap dan terang.



(a) Rendah (b) Sedang (c) Tinggi
Gambar.13 Visualisasi Nilai FCD

Kerapatan tinggi ditandai dengan nilai FCD yang tinggi dengan rentang ($\geq 70\%$) dan divisualisasikan dengan rona yang cerah. Pada titik berikut diketahui bahwa nilai FCD sebesar 80,35% yang dimana nilai ini masuk dalam kelas kerapatan tinggi dan ditandai dengan rona yang cerah.

IV.8 Hasil Akurasi Validasi Data

Matriks konfusi digunakan untuk menguji akurasi hasil klasifikasi dari interpretasi citra dengan keadaan sebenarnya dilapangan. Data yang digunakan dalam matriks konfusi adalah data titik sampel yang diperoleh dari survei lapangan.

Tabel.10 Matriks Konfusi

Klasifikasi		Pengolahan FCD			Jumlah
		Kerapatan Rendah	Kerapatan Sedang	Kerapatan Tinggi	
Validasi	Kerapatan Rendah	5	0	0	5
	Kerapatan Sedang	0	9	7	16
	Kerapatan Tinggi	0	0	0	25
	Jumlah	5	9	32	46

Berdasarkan Tabel.10 dapat dihitung nilai kesalahan komisi dan omisi seperti pada Tabel IV.11.

Tabel.11 Komisi dan Omisi

No.	Klasifikasi	Komisi	Omisi	Komisi	Omisi
		(Sampel)	(Sampel)	(%)	(%)
1	Kerapatan Rendah	0/5	0/5	0	0
2	Kerapatan Sedang	7/16	0/9	43,75	0
3	Kerapatan Tinggi	0/25	7/32	0	21,875

Berdasarkan Tabel.11 diketahui kesalahan komisi dan kesalahan omisi. Pada kerapatan rendah nilai komisi dan omisi sebesar 0/5 atau 0% yang berarti tidak ada kesalahan pada komisi dan omisi. Pada kerapatan sedang memiliki nilai komisi 7/16 atau sebesar 43,75%. Hal tersebut dikarenakan terdapat 7 sampel yang merupakan kelas kerapatan sedang namun dalam validasi masuk kedalam kelas kerapatan tinggi. Pada kerapatan tinggi terdapat kesalahan omisi sebesar 7/32 atau 21,875%. Hal ini dikarenakan masuknya 7 sampel yang masuk kedalam kerapatan tinggi.

Tabel.12 *User's Accuracy*

No.	Klasifikasi	<i>User's Accuracy</i>
1	Kerapatan Rendah	100%
2	Kerapatan Sedang	56,25%
3	Kerapatan Tinggi	100%

Berdasarkan Tabel IV.12, *user's accuracy* dihitung berdasarkan jumlah sampel yang benar dibagi dengan jumlah total sampel. *User's accuracy* digunakan untuk mengetahui tingkat akurasi berdasarkan hasil interpretasi citra. Pada kelas kerapatan rendah dan tinggi memiliki nilai *user's accuracy* sebesar 100% dan kelas kerapatan sedang memiliki nilai 56,25%.

Tabel.13 *Producer's Accuracy*

No.	Klasifikasi	<i>Producers's Accuracy</i>
1	Kerapatan Rendah	100%
2	Kerapatan Sedang	100%
3	Kerapatan Tinggi	78,125%

Berdasarkan Tabel IV.13 diketahui nilai *producers's accuracy* pada kelas kerapatan rendah dan sedang sebesar 100% dan kerapatan tinggi sebesar 78,125%. Menurut (Gallego, 1995) nilai *producer's accuracy* sudah baik dan dapat diterima karena lebih besar dari 70%.

Berdasarkan perhitungan *overall accuracy* atau besarnya akurasi keseluruhan diperoleh sebesar 84,78% sedangkan untuk *kappa accuracy* diperoleh sebesar 75,64%. Berdasarkan hasil tersebut diketahui bahwa *overall accuracy* dapat dikatakan baik karena melebihi 80% (Short, 1982 dalam Nawangwulan, 2013) namun untuk *kappa accuracy* belum memenuhi dikarenakan tidak memenuhi 85% (Riswanto, 2009).

IV.9 Luas dan Perubahan Kerapatan Hutan Tahun 2013, 2015 dan 2018

Berdasarkan hasil pengolahan FCD maka diperoleh luas tiap kelas seperti pada Tabel.14.

Tabel.14 Luas Kerapatan Hutan

Kelas	2013 (Ha)	2015 (Ha)	2018 (Ha)
Kerapatan Rendah (<=50%)	387,89	136,8	93,6
Kerapatan Sedang (50%-70%)	4.401,23	3.599,73	3.362,22
Kerapatan Tinggi (>=70%)	1.046,61	2.136,33	2.417,04
Jumlah	5.835,73	5.872,86	5.872,86

Berdasarkan hasil pengolahan FCD maka diketahui perubahan kerapatan hutan seperti pada Tabel.15 dan Tabel.16.

Tabel.15 Perubahan Kerapatan Hutan 2013-2015

Kelas	2013 (Ha)	2015 (Ha)	Perubahan (Ha)
Kerapatan Rendah (<=50%)	387,89	136,8	(-) 251,09
Kerapatan Sedang (50%-70%)	4.401,23	3.599,73	(-) 801,5
Kerapatan Tinggi (>=70%)	1.046,61	2.136,33	(+) 1.089,72

Berdasarkan hasil pengolahan FCD tahun 2013 dan 2015 diketahui bahwa perubahan kerapatan hutan rendah/jarang menurun dari 387,89 Ha menjadi 136,8 Ha yaitu sebesar 251.09. Berdasarkan pada titik validasi diketahui terdapat 9 titik pada tahun 2013 berubah menjadi 5 titik pada tahun 2015. Hal ini selaras dengan perubahan kerapatan rendah namun terdapat beberapa titik mengalami kesalahan dikarenakan titik tersebut ditutupi oleh gangguan awan. Kesalahan yang diakibatkan oleh gangguan awas menyebabkan beberapa daerah masuk dalam kelas kerapatan rendah.

Berdasarkan hasil pengolahan FCD tahun 2013 dan 2015 diketahui bahwa perubahan kerapatan hutan sedang mengalami penurunan cukup signifikan dari 4.401,23 Ha pada tahun 2013 menjadi 3.599,73 Ha pada tahun 2015 yaitu sebesar 801,5 Ha. Berdasarkan pada titik validasi diketahui terdapat 20 titik pada tahun 2013 menjadi 12 titik pada tahun 2015. Hal ini selaras dengan perubahan kerapatan sedang dari periode tersebut.

Berdasarkan hasil pengolahan FCD tahun 2013 dan 2015 diketahui bahwa perubahan kerapatan hutan tinggi mengalami peningkatan cukup signifikan dari 1.046,61 Ha pada tahun 2013 menjadi 2.136,33 Ha pada tahun 2015 yaitu sebesar 1.089,72 Ha. Berdasarkan pada titik validasi diketahui terdapat 17 titik pada tahun 2013 menjadi 29 titik pada tahun 2015. Perubahan titik yang cukup signifikan tersebut selaras dengan perubahan kerapatan tinggi pada periode tersebut.

Berdasarkan data dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) pada bulan September sampai Oktober tahun 2014 telah terjadi kebakaran hutan seluas 151,98 hektar. Kebakaran hutan telah terjadi sebanyak 3 kali sepanjang musim kemarau tahun 2015. Kejadian pertama terjadi pada akhir Agustus yang menghancurkan 90 hektar dimana 40 hektar di Kabupaten Magelang dan 50 hektar di Kabupaten Boyolali. Kejadian kedua terjadi pada awal September di areal hutan Gunung Merbabu wilayah selo yang menghancurkan 60 hektar kawasan hutan. Kejadian terakhir terjadi di akhir September yang menghancurkan 60 hektar hutan di sisi timur Gunung Merbabu.

Kebakaran hutan terjadi pada ketinggian 2.000-2.500 meter diatas permukaan laut yang dimana daerah tersebut merupakan daerah yang didominasi dengan kerapatan sedang sehingga hal ini menjadi salah satu penyebab terjadinya perubahan kerapatan sedang yang cukup signifikan. Kebakaran tersebut menghancurkan vegetasi berupa ilalang, pinus, pusa, residu, pakis gunung, serehan yang dimana merupakan vegetasi yang mudah terbakar disaat musim kemarau.

Berdasarkan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) fenomena El Nino yang menguat pada Agustus sampai Desember 2015 mempengaruhi panjang kemarau tahun 2015 dan menyebabkan kemunduran datangnya musim hujan. Pada sektor kehutanan, fenomena El Nino berdampak pada kebakaran hutan dan lahan. El Nino adalah gejala penyimpangan kondisi meningkatnya suhu permukaan laut yang signifikan di Samudera Pasifik sekitar ekuator

khususnya dibagian tengah dan timur dan berdampak pada pengurangan jumlah curah hujan yang signifikan di Indonesia.

Tabel.16 Perubahan Kerapatan Hutan 2015-2018

Kelas	2015 (Ha)	2018 (Ha)	Perubahan (Ha)
Kerapatan Rendah ($\leq 50\%$)	136,8	93,6	(-) 43,2
Kerapatan Sedang (50%-70%)	3.599,73	3.362,22	(-) 237,51
Kerapatan Tinggi ($\geq 70\%$)	2.136,33	2.417,04	(+) 280,71

Berdasarkan hasil pengolahan FCD tahun 2015 dan 2018 diketahui bahwa perubahan kerapatan hutan rendah/jarang menurun dari 136,8 Ha menjadi 93,6 Ha yaitu sebesar 43,2 Ha. Berdasarkan pada titik validasi tidak terjadi perubahan pada kerapatan rendah dan perubahan kerapatan hutan tidak terlalu signifikan dibandingkan perubahan kerapatan hutan tahun 2013 hingga 2015.

Berdasarkan hasil pengolahan FCD tahun 2015 dan 2018 diketahui bahwa perubahan kerapatan hutan sedang mengalami penurunan dari 3.599,73 Ha pada tahun 2015 menjadi 3.362,22 Ha pada tahun 2018 yaitu sebesar 237,51 Ha.

Berdasarkan hasil pengolahan FCD tahun 2015 dan 2018 diketahui bahwa perubahan kerapatan hutan tinggi mengalami peningkatan dari 2.136,33 Ha menjadi 2.417,04 Ha yaitu sebesar 280,71 Ha.

Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) menyatakan bahwa puncak kemarau terjadi pada bulan Agustus-September 2018. Fenomena El Nino pada tahun 2018 akan terjadi dalam skala yang lemah-sedang dibandingkan El Nino pada tahun 2015 dalam skala yang kuat sehingga kemarau pada tahun 2018 diperkirakan diperkirakan tidak separah musim kemarau pada tahun 2015. Hal ini menyebabkan tidak terjadinya perubahan kerapatan hutan yang signifikan dibandingkan perubahan kerapatan hutan yang terjadi pada tahun 2013 hingga 2015.

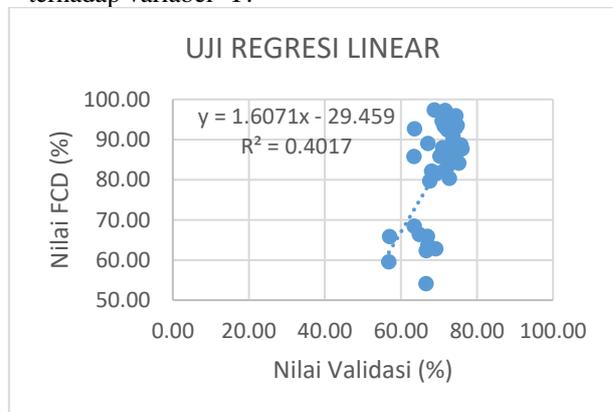
Salah satu penyebab tidak terjadinya perubahan kerapatan hutan secara signifikan dikarenakan fenomena La Nina yang terjadi setelah fenomena El Nino. Hampir 75% fenomena El Nino kemudian diikuti oleh fenomena La Nina. Fenomena La Nina merupakan peristiwa turunnya suhu air laut di Samudera Pasifik dibawah suhu rata-rata sekitarnya yang menyebabkan curah hujan berlebihan.

Pada tahun 2016 fenomena La Nina terjadi di Indonesia yang menyebabkan terjadinya musim kemarau basah yang artinya saat musim kemarau terjadi hujan sehingga menyebabkan banjir dan longsor. Fenomena La Nina menyebabkan meningkatnya curah hujan sehingga memberikan dampak positif yaitu menurunnya jumlah kebakaran hutan dan lahan. Fenomena ini menyebabkan banyaknya kejadian longsor di area Gunung Merbabu namun tidak dalam kawasan hutan, melainkan dekat dengan pemukiman warga.

Fenomena La Nina membantu menurunkan angka kebakaran hutan yang terjadi di Taman Nasional Gunung Merbabu sehingga sepanjang periode 2015-2018 setelah melewati fenomena El Nino tidak banyak kejadian kebakaran hutan yang terjadi di Taman Nasional Gunung Merbabu dibandingkan saat terjadi fenomena El Nino pada periode 2013-2015 yang menyebabkan banyaknya kejadian kebakaran hutan.

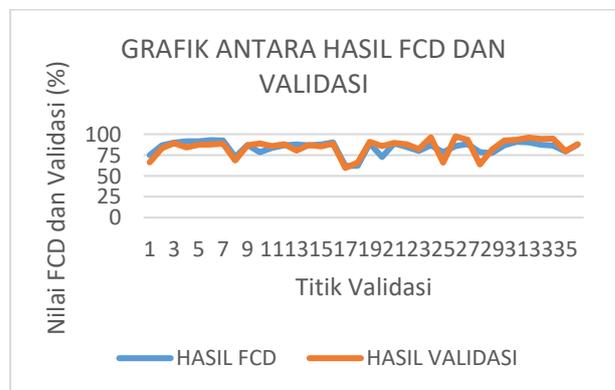
IV.10 Hasil Uji Regresi

Model regresi yang diperoleh dari nilai hasil pengolahan metode *Forest Canopy Density* (FCD) dengan nilai hasil sampel validasi lapangan yang diolah dengan metode *thresholding* menghasilkan model hubungan linear. Pemilihan model hubungan antara hasil FCD dengan nilai *thresholding* didasarkan pada koefisien determinasi (R^2). Nilai koefisien determinasi dalam regresi ini menunjukkan pengaruh variabel X terhadap variabel Y.



Gambar.14 Grafik Regresi Linear antara Hasil FCD dengan Hasil Validasi

Pada Gambar.14 diketahui perbandingan nilai hasil pengolahan FCD dengan nilai hasil pengolahan validasi lapangan dengan metode *thresholding* menghasilkan persamaan $y=1,6071x-29,459$ dan nilai koefisien determinasi sebesar 0,4017 atau sebanyak 40,17%. Nilai R^2 menjelaskan hubungan variabel X terhadap variabel Y dengan model linear.



Gambar.15 Grafik Perbandingan antara Hasil FCD dengan Hasil Validasi

Pada Gambar 15 dapat dilihat bahwa pola grafik antara nilai FCD pada titik pengambilan sampel validasi lapangan dengan metode *thresholding* memiliki pola yang hampir sama. Persamaan regresi

linear yang telah didapat diaplikasikan terhadap nilai FCD untuk mendapatkan hubungan pola antara nilai FCD dan nilai hasil validasi lapangan. Adapun sedikit perbedaan bentuk pola dikarenakan perbedaan nilai antara FCD dan nilai validasi namun tidak terlalu signifikan.

Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
	B	Std. Error	Beta		
1 (Constant)	-29.459	22.068		-1.335	.190
NILAI FCD	1.607	.314	.634	5.117	.000

Gambar.16 Tabel *Coefficients* SPSS

Berdasarkan nilai signifikansi : dari tabel *Coefficients* diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000 < 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel nilai FCD (X) berpengaruh terhadap variabel nilai validasi (Y).

Berdasarkan nilai t : diketahui nilai t_{hitung} sebesar 5,117 > t_{tabel} 2,023 sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel nilai FCD (X) berpengaruh positif terhadap variabel nilai validasi (Y). Maksud pengaruh positif adalah semakin positif variabel X maka akan meningkatkan variabel Y.

$$\begin{aligned}
 t_{tabel} &= (\alpha/2 : n-k-1) \\
 &= (0,05/2 : 41-1-1) \\
 &= (0,025 : 39) \text{ [Dilihat pada distribusi nilai } t_{tabel}] \\
 &= 2,023
 \end{aligned}$$

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Berdasarkan metode *Forest Canopy Density* (FCD) dapat diketahui bahwa luas kerapatan hutan pada tahun 2013 dengan kerapatan rendah sebesar 387,89 Ha, kerapatan sedang sebesar 4.401,23 Ha dan kerapatan tinggi sebesar 1.046,61 Ha. Pada tahun 2015 diketahui bahwa kerapatan hutan dengan kerapatan rendah sebesar 136,8 Ha, kerapatan sedang sebesar 3.599,73 Ha dan kerapatan tinggi sebesar 2.136,33 Ha. Sedangkan pada tahun 2018 diketahui bahwa luas kerapatan hutan dengan kerapatan rendah sebesar 93,6 Ha, kerapatan sedang sebesar 3.362,22 Ha dan kerapatan tinggi sebesar 2.417,04 Ha.
- Perubahan kerapatan hutan dari tahun 2013 hingga 2015 pada kerapatan rendah sebesar 251,09 Ha, kerapatan sedang sebesar 801,5 Ha dan kerapatan tinggi sebesar 1.089,72 Ha. Sedangkan perubahan kerapatan hutan pada tahun 2015 hingga tahun 2018 pada kerapatan rendah sebesar 43,2 Ha, kerapatan sedang sebesar 237,51 Ha dan kerapatan tinggi sebesar 280,71 Ha.
- Berdasarkan hasil uji regresi dengan model linear antara nilai hasil FCD dengan hasil validasi metode *thresholding* memiliki persamaan $y=1,6071x-29,459$ dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,4017 atau sebanyak 40,17%. Berdasarkan nilai signifikansi dari tabel *Coefficients* diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,000 < 0,05 sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel nilai FCD (X) berpengaruh terhadap variabel nilai validasi (Y). Berdasarkan nilai t

diketahui nilai t_{hitung} sebesar 5,117 > t_{tabel} 2,023 sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel nilai FCD (X) berpengaruh positif terhadap variabel nilai validasi (Y).

V.2 Saran

Pada penelitian ini, penulis mengajukan saran untuk penelitian selanjutnya yaitu :

- Pemilihan citra satelit ada baiknya menggunakan citra dengan kualitas yang lebih baik/tinggi dengan tutupan awan yang sedikit sehingga dalam penentuan kelas hasilnya lebih akurat dan sesuai dengan kondisi di lapangan untuk mengurangi kesalahan.
- Pengambilan data citra satelit sebaiknya menggunakan bulan yang sama jika pengolahan dilakukan secara multitemporal.
- Jumlah pengambilan sampel sebaiknya dilakukan secara merata agar dapat mewakili setiap kelas yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Informasi Geospasial. 2014. *Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Spasial Mangrove*. Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial No. 3.
- Balai Taman Nasional Gunung Merbabu. 2015. *Profil Gunung Merbabu*. <http://www.tngunungmerbabu.org>. Diakses pada tanggal 18 April 2017 pukul 07.48 WIB.
- Departemen Kehutanan. 2007. *Statistik Kehutanan Indonesia 2006*. Departemen Kehutanan, Jakarta.
- Departemen Kehutanan. 2004. *Klasifikasi Penutupan Lahan*. Departemen Kehutanan, Jakarta.
- Departemen Kehutanan dan Perkebunan. 1999. *Undang-Undang Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan*. Jakarta: Dephutbun RI.
- Gallego, F. Javier, 1995. *Sampling Frames of Square Segments*. Luxemborg: Office for Publications of the E.C.
- Rikimaru. 2002. *Tropical Forest Cover Density Mapping*. *Tropical Ecology*, 43 (1)39-47.
- Riswanto, Eris. 2009. *Evaluasi Akurasi Klasifikasi Penutupan Lahan Menggunakan Citra ALOS PALSAR Resolusi Rendah Studi Kasus di Pulau Kalimantan*. Skripsi, Bogor: Departemen Manajemen Kehutanan Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Roy P.S., Rikimaru, A. dan Miyatake, S. 1997. *Biophysical Spectral Response Modelling Approach for Forest Density Stratification*. *Proceeding of the 18th Conference on Remote Sensing*, pp JSB 1-6. Kuala Lumpur, Malaysia.
- Soenarmo, S. H., 2009. *Penginderaan Jauh dan Pengenalan Sistem Informasi Geografis untuk Bidang Ilmu Kebumihan*. Bandung: Penerbit ITB Bandung.