

ANALISIS SEBARAN KAWASAN POTENSIAL PANAS BUMI GUNUNG SALAK DENGAN SUHU PERMUKAAN, INDEKS VEGETASI DAN GEOMORFOLOGI

Putri Mariasari Sukendar, Bandi Sasmito, Arwan Putra Wijaya^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp. (024)76480785, 76480788
Email : putrimariasari@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia terletak pada tiga pertemuan lempeng tektonik yang memberikan kontribusi dalam ketersediaan energi panas bumi. Langkah awal kegiatan eksplorasi potensi panas bumi yaitu dengan kajian karakteristik daerah potensi panas bumi. Dalam hal ini kajian karakteristik potensial panas bumi akan dilakukan pada kawasan Gunung Salak, Sukabumi, Jawa Barat.

Pada penelitian ini data yang digunakan adalah citra LANDSAT 8 dan GDEM Aster. GDEM Aster digunakan untuk analisis kelurusan dan morfologi wilayah penelitian dengan efek shading cahaya matahari untuk memberikan efek gelap pada morfologi seperti gunung, tebing yang membentuk pola kelurusan struktur. Karena daerah yang memiliki banyak kelurusan merupakan daerah zona lemah dimana pada daerah ini dapat menjadi jalan air menuju permukaan yang menjadi sumber panas di permukaan dari sistem panas bumi yang ada. Dalam penelitian ini kelurusan ditemukan pada morfologi kerucut gunung api. Sedangkan citra LANDSAT 8 digunakan untuk analisis distribusi temperatur permukaan (kanal termal) dan indeks vegetasi dengan metode NDVI (kanal gelombang inframerah). Dilakukan komparasi antara NDVI dan suhu permukaan untuk membedakan nilai temperatur permukaan yang berasal dari aktifitas vulkanik terhadap aktifitas manusia.

Hasil dari suhu permukaan menunjukkan suhu terendah pada rentang kelas 1 yaitu 6°C sampai 11°C dan suhu tertinggi pada rentang kelas 6 yaitu >35°C. Sedangkan untuk hasil dari indeks vegetasi dengan metode NDVI didapatkan hasil nilai terendah pada rentang kelas 1 yaitu 0,09 sampai 0,22 dan tertinggi pada rentang kelas 4 yaitu > 0,48. Dalam penelitian ini dilakukan analisis statistik dengan metode regresi linear untuk mengetahui hubungan antara suhu permukaan dan NDVI. Berdasarkan hasil regresi menunjukkan adanya pengaruh antara suhu permukaan dan NDVI dengan ditunjukkannya hasil koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,529 atau 52,9%, dan nilai korelasi sebesar -0,727 yang termasuk ke dalam korelasi kuat dengan tanda negatif (-) menunjukkan hubungan antara kedua variabel suhu permukaan dan indeks vegetasi berkebalikan arah.

Kata Kunci : GDEM Aster, Kelurusan, LANDSAT 8, NDVI, Suhu Permukaan

ABSTRACT

Indonesia is located on the intersection of three tectonic plates which contributes to the availability of geothermal energy. Studying characteristics of geothermal potential areas is the first step in the geothermal exploration. Studying the characteristics of geothermal potential conducted at Mount Salak, Sukabumi, West Java.

The study was conducted using LANDSAT 8 and GDEM Aster. GDEM Aster used to analyze lineament and geomorphology. The Pattern of lineaments structure is caused by the shadow effect of sunlight that cause the dark effect on geomorphology such as mountain, and cliff. The area has a lot of lineament is weak zone. So, The weak zone could be the way out water flow onto the surface. The water flow out is Colled geothermal manifestations. In this study, lineament was found in the morphology of volcanic cones. LANDSAT 8 used to analyze of surface temperature distribution (thermal channel) and vegetation index. The Vegetation Index used NDVI method (infrared wavelength channel).

The results of surface temperature indicated that the lowest temperature is in range of class 1, which is 6°C to 11°C, and the highest temperature is in the range of class 6, which is >35°C. While the results of vegetation index indicated that the lowest value is in the range of class 1, which is 0.09 to 0.22, and the highest value is in class 4, which is > 0.48. The Statistical analysis conducted using the linear regression method. This method conducted to determine the relationship between surface temperature and NDVI. The results of linear regression indicated the infuence of surface temperature and NDVI. The influence of both is showed by the determination coefficient (R^2) of 0.529 or 52.9%. So, the correlation value of -0.727 indicated strong correlation. The negative sign (-) of correlation value showed the opposite direction relationship between the two variables (surface temperature and vegetation index).

Keywords : GDEM Aster, LANDSAT 8, Lineament, NDVI, Surface Temperature

^{*) Penulis PenanggungJawab}

I. Pendahuluan

I.1 Latar Belakang

Dari tahun ke tahun jumlah penduduk Indonesia sebagai salah satu negara berkembang di dunia terus mengalami pertumbuhan sehingga menimbulkan berbagai dampak terhadap penggunaan energi untuk menunjang kebutuhan hidup yang meliputi sektor industri, transportasi, dan rumah tangga, dll. Berdasarkan BPS dan Sensus Nasional Tahunan laju pertumbuhan penduduk Indonesia periode tahun 2000-2010 mencapai 1,43% pertahun. Dengan peningkatan konsumsi energi rata-rata pertahun mencapai 2,73% berdasarkan kementerian ESDM.

Oleh karena itu dilakukan upaya untuk mendorong pemanfaatan, penggunaan dan mengembangkan energi alternatif yang bersifat terbarukan (*renewable energy*). Indonesia terletak pada tiga pertemuan lempeng tektonik yang memberikan kontribusi dalam ketersediaan energi panas bumi. Potensi sumber daya energi panas bumi yang dimiliki Indonesia mencapai sekitar 40% potensi panas bumi dari potensi dunia.

Kawasan potensi panas bumi di Indonesia umumnya berada di kawasan gunung vulkanik yang dikelilingi oleh hutan lindung, hutan konservasi, dan cagar alam dengan permukaan area sebagian besar tertutup vegetasi. Salah satunya yaitu Gunung Salak yang terletak di antara Kabupaten Sukabumi dan Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Oleh karena jangkauan ke daerah-daerah tersebut cukup sulit, sehingga diperlukan adanya teknologi yang dapat membantu untuk upaya survey pendahuluan ke daerah eksplorasi. Teknologi penginderaan jauh merupakan cara yang sangat efektif karena dapat mengidentifikasi karakteristik spektral permukaan area berdasarkan sensor satelit.

I.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana sebaran suhu permukaan dan NDVI di wilayah Gunung Salak, Sukabumi, Jawa Barat ?
2. Bagaimana sebaran potensial panas bumi di wilayah Gunung Salak, Sukabumi, Jawa Barat ?
3. Bagaimana korelasi antara suhu permukaan dan NDVI di kawasan potensial panas bumi berdasarkan analisis DEM ?

I.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah.

1. Mengetahui sebaran potensi sumber daya panas bumi di suatu daerah dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh berdasarkan suhu permukaan, NDVI, dan DEM.
2. Mengetahui korelasi antara suhu permukaan dan NDVI di lokasi panas bumi di wilayah Gunung Salak, Jawa Barat.

3. Dapat memberikan wawasan dan informasi terkait metode-metode penginderaan jauh untuk identifikasi panas bumi yang dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya yang akan datang.

I.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dalam kegiatan pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Wilayah studi mencakup koordinat $6^{\circ}43' \text{ LS}$, $106^{\circ}44' \text{ BT}$ sampai $6^{\circ}51' 12'' \text{ LS}$, $106^{\circ} 41' 1,25'' \text{ BT}$ daerah Gunung Salak terletak diantara Kabupaten Sukabumi (Kecamatan Parakan salak, Kecamatan Kalapa nunggal, Kecamatan Kabandungan) dan Kabupaten Bogor (Kecamatan Pamijahan, Kecamatan Tenjolaya, Kecamatan Tamansari), Jawa Barat.
2. Penggunaan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) dalam identifikasi daerah sumber daya panas bumi.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

NDVI merupakan indeks vegetasi yang paling dikenal dan sering digunakan. NDVI dikembangkan oleh Rouse, dkk (1973). NDVI dikembangkan berdasarkan perbedaan antara absorpsi maksimum pada gelombang merah dan reflektansi maksimum pada gelombang inframerah yang didasarkan pada struktur sel daun. NDVI dipilih karena algoritma ini telah dikenal luas dalam penginderaan jauh untuk studi vegetasi. Meskipun sederhana, namun terbukti memiliki kemampuan untuk menonjolkan fenomena yang terkait dengan kerapatan vegetasi dengan menekan sumber-sumber variasi spektral lain. Nilai NDVI yang tinggi menunjukkan tumbuhan yang lebih hijau (lebih rapat) dan sebaliknya.

II.2. Suhu Permukaan

Suhu Permukaan Menurut Coll, dkk (1994), suhu permukaan adalah salah satu parameter kunci keseimbangan energi pada permukaan dan merupakan variabel klimatologis yang utama. Data suhu permukaan digunakan sebagai data masukan dalam model perhitungan salah satunya untuk untuk penentuan titik panas. Besarnya suhu permukaan tergantung pada kondisi parameter permukaan lainnya seperti albedo, kelembaban permukaan dan tutupan serta kondisi tanah. Menurut pendapat Wan, dkk (1996) dalam Ali, dkk (2012) Suhu permukaan tanah didefinisikan sebagai emisi termal dari tanah, termasuk tumbuhan dan permukaan tanah yang gundul. Dalam jurnal yang ditulis oleh Prasasti, Sambodo dan Carolita (2001), terdapat tiga Algoritma yang dapat digunakan untuk mencari nilai suhu permukaan. Algoritma yang diajukan oleh Price, Li dan Becker dan Coll dapat memberikan hasil pendekatan nilai suhu permukaan yang baik, walaupun tanpa informasi nilai emisivitas permukaan

yang akurat sekalipun. Pendugaan emisivitas permukaan yang tepat dapat diturunkan dari hubungan empiris antara berbagai indeks vegetasi dengan fraksi penutup vegetasi, selain itu dapat ditentukan pula dicapai melalui pemodelan evolusi temporal dari emisivitas permukaan untuk berbagai kelas penutupan lahan melalui Sistem Informasi Geografis (GIS). Adapun rumusan algoritma dalam jurnal yang ditulis oleh Prasasti, Sambodo dan Carolita (2001), dari masing-masing yaitu seperti di bawah ini.

1. Berdasarkan price

$$Sp1 = Tb_{3i} + 3,33 (Tb_{3i} - Tb_{32}) \times (5,5 - 8_{3i} / 4,5) + 0,75 Tb_{3i} (e_{3i} - e_{32}) \dots \dots \dots (1)$$
2. Berdasarkan Lie dan Becker

$$Sp2 = A_o + P [(Tb_{3i} - Tb_{32}) / 2] + M [(Tb_{3i} - Tb_{32}) / 2] \dots \dots \dots (2)$$
3. Berdasarkan Coll et. Al

$$SP3 = Tb_{3i} + A (Tb_{3i} - Tb_{32}) + B \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan :

Sp = Nilai suhu permukaan
 Tb = Nilai suhu kecerahan
 e = Emisivitas

II.3. Geomorfologi

Menurut van Zuidam (1985) dalam John Hugget (2009) geomorfologi didefinisikan sebagai studi yang mendeskripsikan bentuklahan dan proses serta mencari hubungan antara bentuk lahan dan proses dalam susunan keruangannya. Dalam mendeskripsi dan menafsirkan bentuk-bentuk bentang alam (landform atau landscapes) ada tiga faktor yang diperhatikan dalam mempelajari geomorfologi, yaitu: struktur, proses dan stadia. Ketiga faktor tersebut merupakan satu kesatuan dalam mempelajari geomorfologi.

II.3.1. Kelurusan

O' Leary dkk (1976) dalam Hung L.Q dkk (2005) menjelaskan bahwa kelurusan adalah fitur linear yang dapat dipetakan dari permukaan, dan merupakan ekspresi morfologi struktur geologi. Lembah sungai lurus dan sejajar segmen lembah adalah ekspresi geomorfologi khas dari kelurusan. Morfologi kelurusan atau *lineament* pada permukaan bumi telah menjadi tema studi bagi ahli geologi selama bertahun – tahun, dari tahun-tahun awal abad terakhir sampai sekarang. Sejak awal, ahli geologi menyadari bahwa fitur linear adalah hasil dari zona lemah atau perpindahan struktural dalam kerak bumi.

II.4. Korelasi Suhu Permukaan, Indeks Vegetasi dan DEM dalam Penentuan Panasbumi

Salah satu prospek dari manifestasi panas bumi adalah terdapat suatu anomali dari hasil pengolahan suhu permukaan dibandingkan dengan daerah disekitarnya. Hal ini dicurigai sebagai kawasan tempat keluarnya fluida panas dari reservoir ke permukaan (Wahyudi, 2005).

Untuk membedakan nilai temperatur permukaan yang berasal dari aktifitas vulkanik terhadap aktifitas manusia dilakukan komparasi citra temperatur permukaan dengan citra NDVI (*Normalized Different Vegetation Index*). Karena dalam hal ini NDVI merupakan citra yang mampu menunjukkan nilai kanopi atau indeks vegetasi di suatu wilayah. Sedangkan daerah potensi sumber daya panasbumi di Indonesia umumnya berada di kawasan hutan lindung, hutan konservasi, dan cagar alam, dengan permukaan area sebagian besar tertutup vegetasi. Pantulan vegetasi secara umum menunjukkan nilai kecerahan yang tinggi pada panjang gelombang inframerah pantulan. Oleh karena itu anomali vegetasi pada area panas bumi perlu dikaji sebagai indikator adanya sumberdaya panasbumi di area tersebut. Indikator permukaan area panas bumi adalah mineral permukaan, alterasi hidrotermal, vegetasi, dan anomali termal (Bujung, Cyrke A.N. dkk. 2010).

Pembentukan *Hillshade* (*Hillshading*) Menurut Sungkono (1999), zona permeabel merupakan target pemboran yang signifikan untuk menemukan sumur produktif. Permukaan dapat didelineasi dengan kelurusan pada citra kelurusan-kelurusan yang diperoleh dari hasil analisis citra sangat membantu dalam analisis struktur geologi, tetapi hal tersebut belum cukup dalam suatu kegiatan eksplorasi panas bumi. Perlu juga diketahui bagian mana yang memiliki struktur geologi paling intensif dan pola umum dari struktur geologi yang berkaitan dengan pembentukan sistem panas bumi daerah tersebut.

III. Pelaksanaan Penelitian

III.1. Alat dan Bahan Penelitian

Perangkat pengolahan data terdiri dari 2 (dua) perangkat. Yaitu perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*):

1. Perangkat Keras (*Hardware*)

Perangkat keras yang digunakan dalam pengolahan data yaitu:

- a. Laptop merk Asus prosesor Intel(R) Celeron(R) CPU 847@ 1.10GHz (2CPUs), ~1.1GHz; Memori 4,096 GB RAM; Sistem operasi Windows 7 Ultimate 64-bit.
- b. GPS Handheld

2. Perangkat Lunak (*Software*)

Perangkat lunak yang digunakan dalam pengolahan data yaitu:

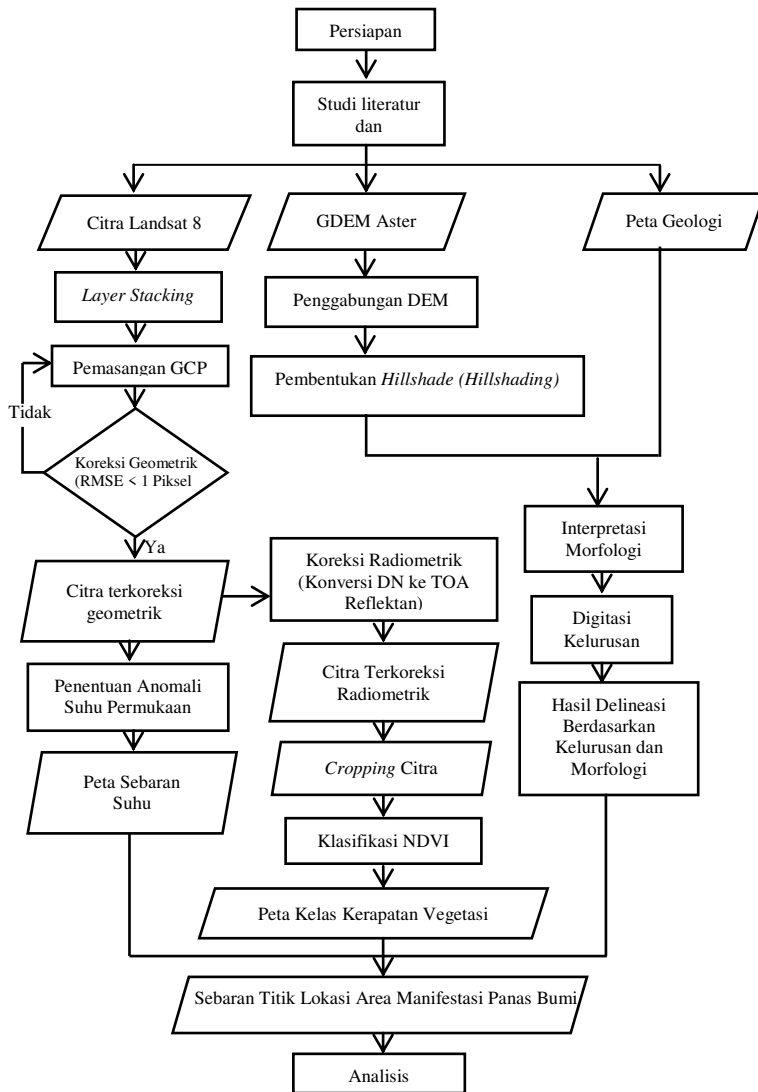
- a. Software ArcGIS 10.1
- b. Software ENVI 5.1
- c. Software SPSS 17.1
- d. Microsoft office 2015

III.2. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Citra Satelit Landsat 8 tanggal 12 Juni 2015
2. Citra GDEM Aster 2014
3. Peta Rupa Bumi skala 1 : 25.000
1. Peta Geologi Berbasis Indonesia skala 1 : 100.000
2. Peta Batas Administrasi format *shapefile* Kemendagri 2010

III.3. Metodologi



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses

III.4. Tahap Pra Pengolahan Data

III.4.1 Kalibrasi Radiometrik

Kalibrasi radiometrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah kalibrasi sudut dan jarak matahari. Dan citra yang dilakukan radiometrik adalah citra yang akan digunakan untuk analisis NDVI saja. Prinsip dari kalibrasi ini adalah mengubah nilai *digital number* (DN) menjadi nilai

reflektan. Berikut merupakan tahapan kalibrasi sudut dan jarak matahari.

1. Konversi Nilai Pixel ke Radian Spektral

$$L_{\lambda} = L_{\min(\lambda)} + \{L_{\max(\lambda)} - L_{\min(\lambda)} / Q_{\max}\} \times Q_{DN} \dots (4)$$

Dimana:

- L_{λ} : Radian Spektral
 $L_{\max(\lambda)}$: Maximum spectral radiance
 $L_{\min(\lambda)}$: Minimum spectral radiance
 Q_{DN} : Digital Number
 Q_{\max} : Nilai Maksimum Digital Number

2. Konversi Nilai Radian Spektral ke Nilai Reflektan

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{ESUN_{\lambda} \cdot \cos \theta_s} \dots (5)$$

Dimana:

- ρ_{λ} = Nilai reflektan
 π = Konstanta matematika
 d = Jarak matahari-bumi
 $ESUN_{\lambda}$ = Nilai irradiansi
 $\cos \theta_s$ = Sudut zenith matahari (derajat)

III.4.2 Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik dilakukan dengan menggunakan titik kendali/control tanah (*Ground Control Point* biasa disingkat GCP. GCP dimaksud adalah titik yang diketahui koordinatnya secara tepat dan dapat terlihat pada citra indraja satelit seperti perempatan jalan dan lain-lain dengan tujuan untuk mendapatkan citra yang sesuai dengan proyeksi peta. Adapun sebaran titik GCP yang dipasang yaitu sebanyak 10 buah.

III.4.3 Cropping Citra

Cropping area atau pemotongan citra merupakan tahap yang dilakukan dengan mempertimbangkan hal-hal berikut :

- a. Daerah studi lebih jelas dan spesifik untuk viasulaisasinya
- b. Menghemat memori penyimpanan.

III.5 Tahap Pengolahan Data

III.5.1 Pengolahan Indeks Vegetasi

Normal Difference Vegetation Index (NDVI) merupakan algoritma untuk menganalisis indeks vegetasi dari citra satelit. Pengolahan indeks vegetasi pada penelitian ini menggunakan algoritma NDVI dengan Landsat 8 pada kanal 5 dan 4.

$$NDVI = \frac{P1 - P2}{P1 + P2} \dots (6)$$

Dimana :

- P1 = Band inframerah dekat (band 5)
 P2 = Band Merah (Band 4)

III.5.2 Pengolahan Suhu Permukaan

Nilai suhu permukaan didapatkan dengan memanfaatkan band termal yaitu kanal 10 pada

Landsat 8 dan diekstraksi menggunakan algoritma berdasarkan Coll.

1. Koreksi atmosferik citra radiance

Koreksi dilakukan dengan menggunakan metode koreksi atmosfer menurut Coll, dkk (2010). dengan formula seperti di bawah :

$$CV_{R2} = \frac{CV_{R1} - L_{\uparrow} - \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} L_{\downarrow}}{\epsilon \tau} \quad \dots\dots\dots(7)$$

Dimana :

CVR2 : Nilai koreksi atmosferik radiance

CVR1 : Nilai Radiance dari section 1

L_{\uparrow} : Upwelling Radiance

L_{\downarrow} : Downwelling Radiance

ϵ : Emissivity (0,95)

τ : Transmisi

2. Konversi radiance terkoreksi atmosferik ke brightness temperature

Konversi ini dilakukan dengan menggunakan formula sebagai berikut :

$$T = K_2 / \ln[K_1 / CV_{R2}] + 1 \quad \dots\dots\dots(8)$$

Dimana :

T : Brightness Temperature satelit (K)

K_1 : Konstanta kalibrasi radian spektral

K_2 : Konstanta kalibrasi suhu absolut (K)

CV_{R2} : Radian spektral

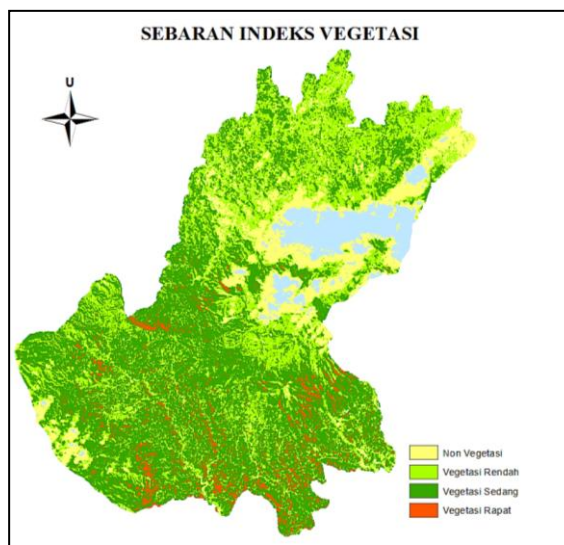
3. Konversi suhu dalam satuan Kelvin menjadi Celcius

Konversi ini dilakukan dengan menggunakan formula seperti di bawah ini :

$$T_{\text{Celcius}} = T_{\text{Kelvin}} - 273 \quad \dots\dots\dots(9)$$

IV. Hasil dan Pembahasan

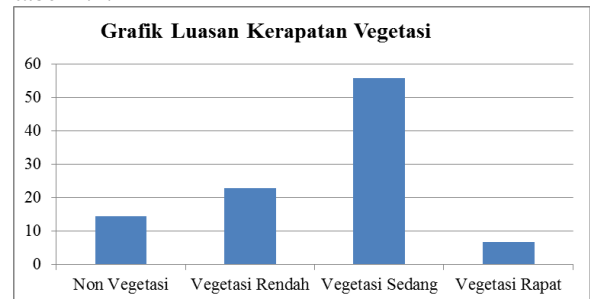
IV.1 Analisis Sebaran Kerapatan Vegetasi



Gambar 4.1 Hasil Sebaran Kerapatan Vegetasi

Dari hasil pengolahan data citra satelit dengan menggunakan metode NDVI didapatkan hasil nilai

indeks vegetasi yang diklasifikasikan menjadi 4 kelas, yaitu kelas non vegetasi, vegetasi rendah, vegetasi sedang, vegetasi rapat. Sebaran dan luasan indeks vegetasi dapat dilihat pada gambar 4.1 dan tabel 4.2.



Gambar 4.2 Grafik Perubahan Luasan kerapatan vegetasi kawasan Gunung Salak

Tabel 4.1 Klasifikasi dan luasan Indeks Vegetasi

No	Kelas	Nilai	Luas	
			(Ha)	%
2	Non Vegetasi	0.09 - 0.22	101.004,70	14,57
3	Vegetasi Rendah	0.23 - 0.35	159.194,71	22,94
4	Vegetasi Sedang	0.36 - 0.48	387.467,35	55,84
5	Vegetasi Rapat	> 0.48	46.201,31	6,66
Total			693868,07	100

Tabel 4.2 Sebaran indeks vegetasi di Kawasan Gunung Salak kelas kecamatan

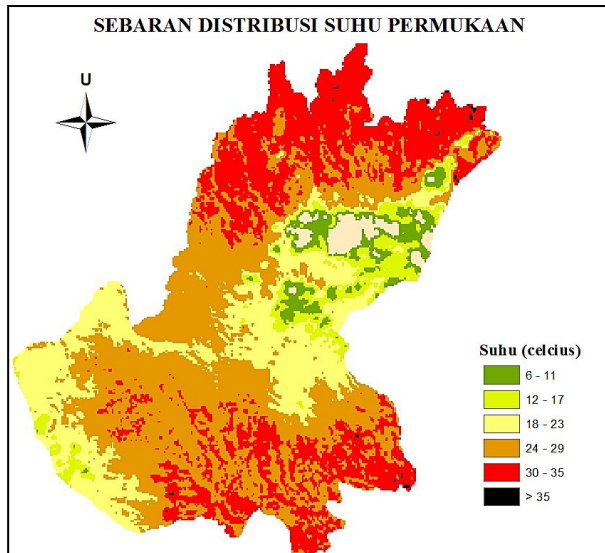
Kecamatan	Non Vegetasi	Vegetasi Rendah	Vegetasi Sedang	Vegetasi Rapat	Persentase (%)
Kabandungan	11.370,56	12.140,54	99.358,69	8.176,96	18,89
Kalapa Nunggal	7.532,80	10.201,56	113.982,28	7.946,06	20,13
Pamijahan	27.997,35	57.758,43	57.517,52	7.563,99	21,74
Parakan Salak	10.864,31	10.173,11	98.867,92	7.752,68	18,40
Tamansari	29.261,22	36.691,74	9.494,65	7.381,30	11,94
Tenjolaya	13.978,46	32.229,32	8.246,29	7.380,34	8,91
Total					100

Pada tabel 4.2 kelas yang memiliki luas paling tinggi adalah kelas vegetasi sedang dengan total luas 387.467,35 Ha atau 55,84 % dari total luas keseluruhan, yang mendominasi pada kelas ini adalah Kecamatan Kalapa nunggal. Sedangkan Untuk kelas vegetasi sangat rapat mencapai luasan sebesar 46.201,31 Ha atau 6,66% dari total luas keseluruhan, dengan penyebarannya didominasi oleh Kecamatan Kabandungan.

Untuk kelas vegetasi rendah yaitu sebesar 159.194,71 Ha atau 22,94% dari luas total

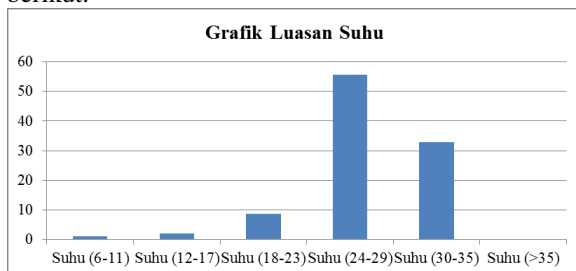
keseluruhan dengan penyebarannya didominasi oleh Kecamatan Pamijahan. Dan sisanya yaitu kelas non vegetasi sebesar 101.004,70 Ha atau 14,57% dari luas keseluruhan, dengan penyebarannya didominasi oleh Kecamatan Tamansari.

IV.2 Analisis Sebaran Suhu Permukaan



Gambar 4.3 Peta Sebaran Suhu Permukaan

Dari hasil pengolahan data suhu permukaan, didapatkan sebaran estimasi nilai suhu permukaan yang diklasifikasikan menjadi 6 kelas yang dapat dilihat pada gambar 4.4 dan tabel 4.3, sebagai berikut.



Gambar 4.4 Grafik Luasan Suhu Permukaan

Tabel 4.3 Luasan Suhu Permukaan

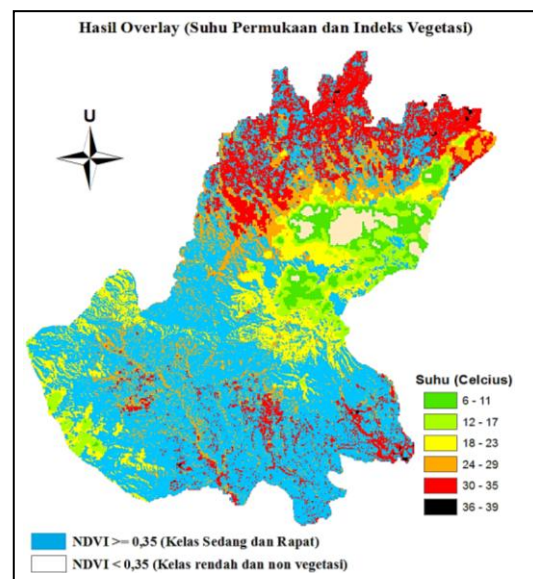
Kelas	Luas	
	Ha	%
Suhu (6-11)	7.361,10	1,06
Suhu (12-17)	13.605,78	1,96
Suhu (18-23)	60.131,75	8,67
Suhu (24-29)	385.152,43	55,51
Suhu (30-35)	227.557,30	32,80
Suhu (>35)	59,71	0,01
Total	693.868,07	100

Tabel 4.4 Sebaran suhu permukaan kelas kecamatan

Kecamatan	Kelas Suhu (Celcius)					
	(6-11)	(12-17)	(18-23)	(24-29)	(30-35)	(> 35)
Kabandungan	313,6	1.897,8	19.947,0	83.037,9	4.601,5	3,5
Kalapa Nunggal	-	9,1	7.361,40	99.166,9	12.755,6	0,7
Pamijahan	3.806,4	5.552,6	20.238,68	139.924,7	103.594,	-
Parakan Salak	2,7	1.252,8	11.405,72	56.110,3	9.135,2	14,4
Tamansari	1.504,4	2.158,4	736,36	4.401,3	56.017,5	34,0
Tenjolaya	1.733,9	2.734,95	442,56	2.511,2	41.453,1	7,1

Pada tabel 4.3 dan tabel 4.4 Pada penelitian ini didapatkan nilai estimasi suhu terendah yaitu pada rentang kelas 1 dan 2 yaitu dengan masing-masing sebesar 6°C sampai 11°C; 12°C sampai 17°C dengan luasan sebesar 7.361 Ha dan 13.606 Ha atau dengan persentase sebesar 1,06% dan 1,96% dari luasan keseluruhan. Nilai estimasi suhu pada rentang ini merupakan kawasan pegunungan, dataran tinggi. Pada rentang kelas 3 dan 4 didapatkan hasil estimasi nilai suhu sebesar 18°C sampai 23°C; 24°C sampai 29°C dengan luasan masing-masing sebesar 60.132 Ha dan 385.152 Ha atau dengan persentase sebesar 8,62% dan 55,23% dari luas keseluruhan. Nilai estimasi suhu ini didominasi oleh hutan, vegetasi sedang, pemukiman, sawah. Sedangkan pada rentang kelas 5 dan 6 didapatkan hasil estimasi nilai suhu sebesar 30°C sampai 35°C; >39°C dengan luasan masing-masing sebesar 227.557 Ha dan 59.71 Ha atau dengan persentase sebesar 32,80% dan 0,01% dari luasan keseluruhan. Nilai estimasi suhu ini didominasi oleh pemukiman, pabrik sawah, tegalan, sumur *inject* pada kawasan potensial panas bumi.

IV.3 Analisis Sebaran Manifestasi Panasbumi

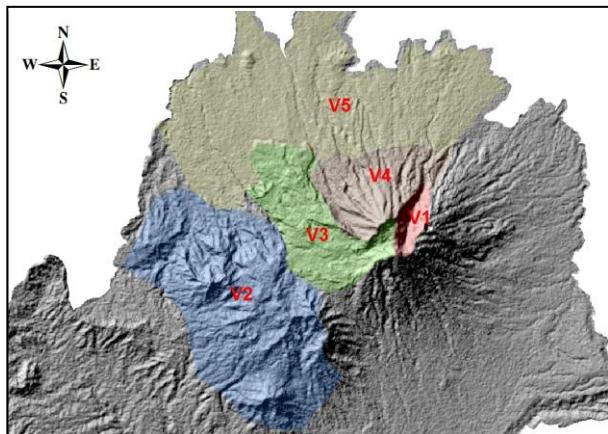


Gambar 4. 5 Hasil overlay suhu permukaan dan indeks vegetasi

Pada gambar 4.5 dapat kita lihat hasil dari pemisahan titik panas yang dilakukan dengan *overlay* antara suhu permukaan dan kerapatan vegetasi. Dari hasil *overlay* (suhu permukaan dan indeks vegetasi) didapatkan dua kesimpulan nilai estimasi terhadap nilai kerapatan vegetasi yaitu nilai kerapatan vegetasi $\geq 0,35$ merupakan kelas vegetasi sedang dan rapat pada hasil NDVI, pada gambar divisualisasikan dengan warna biru.

Sedangkan Untuk nilai kerapatan vegetasi $< 0,35$ merupakan kelas vegetasi rendah, non vegetasi, dan badan air/awan, pada gambar dibuat transparansi. Dari hasil *overlay* tersebut, sehingga yang nampak adalah sebaran dari warna suhu permukaan. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa warna merah (suhu kelas 5) dan hitam (suhu kelas 6) tersebut merupakan area yang termasuk kedalam kerapatan vegetasi $< 0,35$. Berdasarkan hasil *overlay* disertai dengan hasil validasi lapangan menunjukkan bahwa panas yang dihasilkan bukan merupakan manifestasi panas bumi, akan tetapi panas yang disebabkan karena adanya aktifitas manusia seperti pemukiman, tegalan, pabrik, sawah, perairan.

IV.3.1. Analisis Morfologi



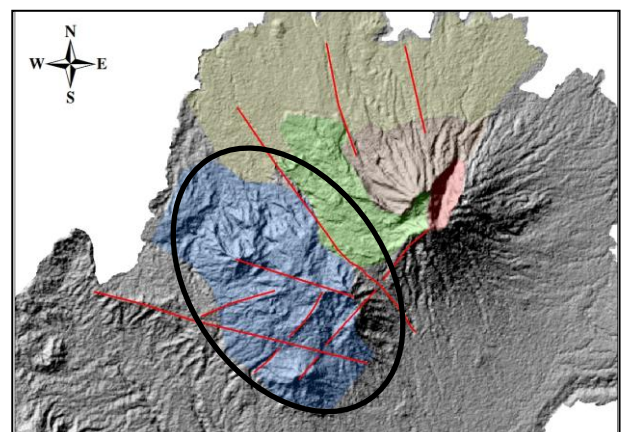
Gambar 4.6 Interpretasi morfologi data GDEM Aster

Berdasarkan interpretasi morfologi gunung api melalui data DEM maka dapat disimpulkan bahwa kawasan Gunung Salak merupakan gunung api dengan satuan morfologi terdiri dari 5 bagian, dalam kelas pegunungan gunung api ditinjau dari bentuklah sesuai dengan klasifikasi verstappen (1983). Hal ini karena kawasan gunung salak memiliki ciri-ciri seperti gambar pada gambar 4.6 yang terdiri dari :

1. Kepundan atau Kawah (V1) : kepundan merupakan depresi melingkar di permukaan tanah yang disebabkan oleh aktifitas vulkanik, kepundan biasanya berbentuk cekungan, berbentuk lingkaran yang merupakan ujung dari lubang angin dimana magma keluar dalam bentuk gas, dan lava.

- 2. Komplek kerucut gunung api (V2) :** kerucut gunung api mencerminkan gunung api sekunder, adapun tipe Gunung Salak merupakan cinder cone, hal ini karena letak komplek kerucut gunung api terletak di bagian kaki gunung.
- 3. Pegunungan aliran piroklastik (V3) :** pada bagian yang ditunjukkan V3 dapat diidentifikasi bahwa itu adalah aliran piroklastik yang merupakan hasil aliran letusan gunung berapi pada Gunung Salak. Identifikasi ini berdasarkan pada litologinya berdasarkan peta geologi lembar Bogor, Jawa litologi (batuan) pada daerah ini terdiri dari lahar, tuff, breksi tuff dan lapili yang merupakan hasil letusan gunung api pada umur holosen-pleistosen, batuan ini merupakan penyusun dari formasi batuan Gunung Api Salak (Qvsb). Dan aliran piroklastik (awan panas) dikontrol oleh gravitasi dan cenderung mengalir melalui daerah rendah. Mobilitas tinggi aliran piroklastik dipengaruhi oleh pelepasan gas dari magma atau yang terpanaskan pada saat mengalir.
- 4. Lereng gunung api (V4):** Bagian V4 merupakan lereng gunung dari gunung api salak. Hal ini bisa kita lihat bahwa V4 merupakan bagian permukaan yang memiliki kemiringan yang tampak jelas, selain itu posisi nya terletak menjulang dari kepundan.
- 5. Kaki gunung api (V5):** Bagian V5 merupakan kaki gunung dari gunung api salak, hal ini karena letak posisi nya berada di bagian paling bawah gunung, serta permukaannya sudah tampak halus, yang diakibat adanya aktifitas manusia seperti pemukiman, sawah, pabrik, perkebunan, dan lain-lain.

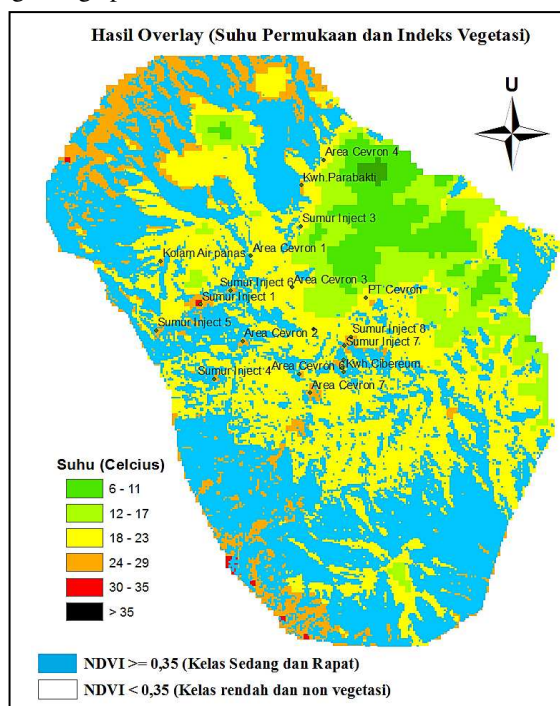
IV.3.2. Penentuan kawasan manifestasi



Gambar 4.7 Kelurusan

Sistem panasbumi terbentuk sebagai hasil perpindahan panas dari sumber panas di sekelilingnya yang terjadi secara konduksi dan secara konveksi. Reservoir merupakan batuan yang memiliki permeabilitas tinggi sehingga bisa menjadi tempat terakumulasinya fluida. Fluida panas ini tidak

keluar atau bocor ke permukaan dikarenakan ditutupi oleh batuan penudung yang merupakan batuan yang kedap air (*impermeable*). Adanya struktur geologi berupa kelurusan yang memotong reservoir, menyebabkan fluida panas ini dapat keluar ke permukaan berupa manifestasi panas. Kelurusan mengindikasikan adanya struktur geologi yang bisa berupa sesar atau patahan. Daerah yang memiliki banyak kelurusan merupakan daerah zona lemah dimana pada daerah ini dapat menjadi jalan air menuju permukaan yang menjadi sumber panas pada sistem panas bumi yang berupa manifestasi permukaan. Daerah tersebut dapat dilihat pada gambar 4.8 dengan tergambarkannya banyak pelurusan pada satuan morfologi kompleks kerucut gunung api Salak.



Gambar 4.8 Kawasan manifestasi teridentifikasi

Berdasarkan hasil morfologi dan kelurusan maka daerah prospek panas bumi Gunung salak berada di bagian barat daya gunung salak pada morfologi V2 (kompleks kerucut gunung api). Sehingga area ini yang akan dipilih sebagai batasan analisis.

Pada gambar 4.8 dapat dilihat persebaran lokasi kawasan manifestasi panas bumi dengan suhu berada pada kisaran 24°C-29°C (kelas 5) dan 30°C-35°C (kelas 6) yang tersebar pada posisi kompleks kerucut gunung api berdasarkan hasil interpretasi data morfologi dan kelurusan. Manifestasi pada kawasan ini dideskripsikan dengan adanya kawah, kolam air panas, dan sumur *inject*. Adapun deskripsi manifestasi panas bumi teridentifikasi dapat dilihat pada table 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.5 Deskripsi manifestasi teridentifikasi

No	X	Y	Identifikasi	Kelas Temperatur (Celcius)	Vegetasi
1	689205,462	9257829,709	Kawah Mati	Kelas 2 (12°C-17°C)	Non Vegetasi
2	689190,849	9257384,425	Kawah Ratu	Kelas 3 (18°C-23°C)	Non Vegetasi
3	683827,553	9256490,510	Kawah parabakti	Kelas 4 (24°C-29°C)	Non Vegetasi
4	684527,408	9253562,607	Kawah Cibereum (jadi rawa gayonggong)	Kelas 4 (24°C-29°C)	Vegetasi Rendah
5	682138,154	9254492,361	Sumur Inject 1	Kelas 5 (30°C-35°C)	Non Vegetasi
6	681467,393	9255213,476	Kolam Air panas	Kelas 4 (24°C-29°C)	Non Vegetasi
7	682639,809	9254726,298	Sumur Inject 6	Kelas 4 (24°C-29°C)	Non Vegetasi
8	682980,207	9255307,287	Area Cevron 1, Kabundungan	Kelas 3 (18°C-23°C)	Non Vegetasi
9	682845,763	9253878,037	Area cevron 2, Kabundungan	Kelas 4 (24°C-29°C)	Non Vegetasi
10	681395,323	9254056,199	Sumur Inject 5	Kelas 4 (24°C-29°C)	Non Vegetasi
11	682360,533	9253238,865	Sumur Inject 4	Kelas 4 (24°C-29°C)	Non Vegetasi
12	683667,256	9254779,641	Area Cevron 3, Kabundungan	Kelas 3 (18°C-23°C)	Non Vegetasi
13	683816,301	9255800,883	Sumur Inject 3	Kelas 3 (18°C-23°C)	Vegetasi Rendah
14	684034,320	9254081,045	Sumur Inject 2	Kelas 3 (18°C-23°C)	Non Vegetasi
15	684196,917	9256913,191	Area Cevron 4, Kabundungan	Kelas 4 (24°C-29°C)	Non Vegetasi
16	684511,471	9253428,734	Area Cevron 5, Kabundungan	Kelas 4 (24°C-29°C)	Non Vegetasi
17	683791,279	9253324,624	Area Cevron 6, Kabundungan	Kelas 4 (24°C-29°C)	Vegetasi Rendah
18	683968,622	9253008,523	Area Cevron 7, Kabundungan	Kelas 4 (24°C-29°C)	Non Vegetasi

IV.4 Analisis Korelasi Suhu Permukaan dan Indeks Vegetasi

Berdasarkan data hasil suhu permukaan dan NDVI dalam penentuan lokasi manifestasi panas bumi tersebut maka dilakukan analisis korelasi untuk mengetahui hubungan antar suhu permukaan dan indeks vegetasi berdasarkan data parameter suhu permukaan dan indeks vegetasi. Adapun pengujian yang dilakukan dengan menggunakan regresi linear dengan perangkat lunak SPSS 17.0 dan *Microsoft Excel* 2015. Hasil perhitungan dengan SPSS didapatkan hasil seperti pada tabel 4.6, sebagai berikut.

Tabel 4.6 Tabel hasil regresi suhu permukaan dan NDVI

Berdasarkan tabel 4.6 di atas didapatkan mean

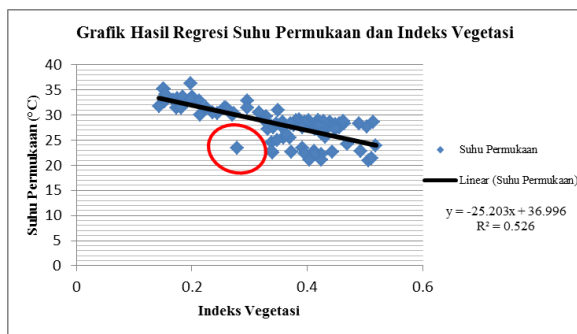
	Mean	Std. Deviation	N
SUHU	28.31012	3.576540	101
NDVI	.345021	.1029013	101

Model Summary ^b				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.727 ^a	.529	.524	2.466411
a. Predictors: (Constant), NDVI				
b. Dependent Variable: SUHU				

(rata-rata) dari suhu permukaan adalah sebesar 28,310 sedangkan untuk NDVI sebesar 0,345 dengan standar deviasi sebesar 3,576 dengan nilai koefisien regresi (R^2) 0,529. Dapat dilihat bahwa nilai standar

eror pada tabel model *summary* sebesar 2,466 lebih kecil dari nilai standar deviasi suhu permukaan ($2,466 < 3,576$), maka berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan model regresi ini cukup untuk memprediksi variabel dependent yaitu suhu permukaan.

Nilai R square menunjukan bahwa variabel independen yang digunakan dalam model mampu menjelaskan sebesar 52,9% variasi variabel dependent. Dan untuk sisanya yaitu sebesar 47,1% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain yang tidak disebutkan dalam penelitian ini. Adapun hasil grafik regresi dari suhu permukaan dan indeks vegetasi dapat dilihat pada gambar 4.9, sebagai berikut :



Gambar 4.9 Grafik regresi suhu permukaan dan indeks vegetasi

Pada grafik regresi suhu permukaan dan indeks vegetasi di atas dapat dilihat terdapat titik sampel yang berada pada lingkaran merah, dari hal ini dapat disimpulkan titik sampel merupakan titik sampel yang kurang baik, dimana terjadi anomali data pada salah satu nilai variabelnya. Hal ini dapat disebabkan karena pengambilan sampel terletak pada bagian yang kurang baik pada citra satelit. Dari grafik tersebut didapatkan nilai persamaan yaitu $y = -25.203x + 36.996$. Dari hasil persamaan tersebut menunjukan adanya korelasi negatif (berlawanan) antara Indeks vegetasi dengan suhu permukaan, ditunjukkan oleh tanda negatif (-) didepan koefisien regresi. Tahap selanjutnya yaitu dilakukan uji korelasi untuk mengetahui kekuatan hubungan antara dua variabel (suhu permukaan dan indeks vegetasi). Adapun pedoman interpretasi koefisien korelasi mengacu kepada sugiyono (2007) dalam kuku (2012) yaitu.

Tabel 4.7 Tingkat hubungan korelasi (pedoman interpretasi koefisien korelasi (Sugiyono, 2007)

Interval Koefisien	Tingkat Hubungan
0,00 – 0,199	Sangat rendah
0,20 – 0,339	Rendah
0,40 – 0,599	Sedang
0,60 – 0,799	Kuat

0,80 – 1,00	Sangat Kuat
-------------	-------------

Adapun rumus koefisien korelasi yang digunakan berdasarkan Usman dan Akbar (2006) yang dapat dilihat pada rumus 10 seperti dibawah ini.

$$r = \frac{n\sum X_i Y_i - (\sum X_i)(\sum Y_i)}{\sqrt{\{n\sum X_i^2 - (\sum X_i)^2\} \{n\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2\}}} \dots\dots\dots(10)$$

Keterangan

- r = koefisien korelasi
- n = banyaknya pengamatan
- X_i = Nilai variabel untuk indeks vegetasi
- Y_i = Nilai variabel untuk ketinggian dan kemiringan lahan.

Adapun tabel hasil korelasi antara suhu permukaan dan NDVI dapat dilihat pada tabel 4.8, sebagai berikut.

Tabel 4.8 Korelasi suhu permukaan dan indeks vegetasi

Korelasi		
Landsat 8	Correlation	-0,727

Dari hasil tersebut didapatkan nilai korelasi antara suhu permukaan dan indeks vegetasi dengan metode NDVI sebesar -0,727. Hasil korelasi yang terjadi antara suhu permukaan dan NDVI berdasarkan pada tabel 4.8 termasuk kategori memiliki keterhubungan kuat (0,60–0,799). Sedangkan untuk nilai korelasi bertanda (-) menunjukan bahwa hubungan suhu permukaan dengan indeks vegetasi berkebalikan arah. Dimana semakin tinggi nilai indeks vegetasi suatu titik maka suhu akan semakin rendah.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian tugas akhir ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut.

1. Dari hasil pengolahan suhu permukaan dan indeks vegetasi didapatkan hasil yang mendominasi dari masing-masing yaitu : nilai distribusi suhu kelas 4 (24°C - 29°C) dengan luas 385.152,432 Ha pada kawasan Kecamatan Pamijahan. Sedangkan nilai indeks vegetasinya yaitu pada kelas vegetasi sedang (0,36- 0,48) dengan luas 387.467,35 Ha pada kawasan Kecamatan Kalapa Nunggal.
2. Sebaran potensial panas bumi di kawasan Gunung Salak teridentifikasi memiliki suhu pada rentang kelas 4 (24°C - 29°C) dengan nilai indeks vegetasinya pada kelas non vegetasi (0.09- 0.22) dan vegetasi rendah (0.23-0.35). Manifestasi teridentifikasi ditunjukan dengan adanya 7 sumur *inject*, kawah, dan kolam air panas.

3. Hasil regresi antara indeks vegetasi dengan suhu permukaan dapat diwakili dengan persamaan $y = -25.203x + 36.996$, dengan $R\text{-square}$ (R^2) yang didapat yaitu sebesar 0,529 atau 52,9%. Sedangkan korelasi yang dihasilkan antara suhu permukaan dan indeks vegetasi sebesar -0,727 (memiliki hubungan kuat) dengan nilai korelasi bertanda (-) yang menunjukkan hubungan yang terjadi berkebalikan arah dengan semakin tinggi nilai indeks vegetasi suatu titik maka suhu akan semakin rendah

V.2 Saran

1. Sebaiknya dihindari penggunaan citra LANDSAT yang memiliki awan menutupi wilayah.
2. Sebaiknya menggunakan citra satelit yang memiliki kanal termal dengan resolusi yang lebih dari citra LANDSAT.
3. Untuk mempermudah menganalisis kemampuan citra LANDSAT dalam merekam kenampakan manifestasi panas bumi sebaiknya dilakukan tinjauan lapangan dengan mengambil titik sampel pada daerah tersebut yang mungkin terekam oleh citra satelit.
4. Metode yang dilakukan dalam penelitian ini kurang efektif dilakukan untuk penentuan manifestasi panas bumi di Gunung Salak hal ini karena kondisi Gunung Salak yang selalu di selimuti awan. Sehingga data yang dihasilkan kurang maksimal. Dan tidak bisa dijadikan acuan mutlak secara keseluruhan namun bisa digunakan sebagai acuan dasar dalam survei pendahuluan dalam penentuan manifestasi panas bumi. Karena dalam penentuan lokasi manifestasi panas bumi sangat kompleks diperlukan survei secara menyeluruh dan detail seperti aspek : geofisika, geokimia, dan geologi.
5. Sebelum melakukan penelitian dengan teknik penginderaan jauh data citra satelit LANDSAT hendaknya tinjau terlebih dahulu kondisi lokasi penelitian dari berbagai aspek baik eksternal maupun internal sehingga hasil bisa maksimal tanpa hambatan.

Daftar Pustaka

- Bujung, Cyrke A.N. dkk. 2010. Karakteristik Spektral Permukaan Daerah Panas Bumi Studi kasus di Daerah Panas Bumi Patuha Jawa Barat.
- Carolita. 2001. Pengkajian Pemanfaatan Data Terra-Modis untuk Ekstraksi Data Suhu Permukaan Lahan (SPL) Berdasarkan Beberapa Algoritma. Pusbangja, LAPAN. Jakarta.
- John, Richard., *Fundamentals of geomorphology second edition*, Routledge 2 Park Square,

- Milton Park, Abingdon, Oxon, OX14 4RN Simultaneously . USA and Canada. 2007
- Noor, Djauhari. 2012. *Pengantar Geologi*. Universitas Pakuan. Bogor. Bogor
- Rouse, J.W. Haas, R. H. dkk. Monitoring The Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation. Final Rep. RSC 1978-4, Remote Sensing Center, Texas A&M University. 1974
- Sugiyono. 2007. *Hipotesis Statistik*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia
- Sungkono, S. 1999. Analysis of Digital Topographic Data for Exploration and Assesment of Geothermal Systems, *Procceding 21st New Zealand Geothermal Workshop*
- Usman, Husaini dan Purnomo, Setiadi Akbar. 2006. *Pengantar Statistik*. Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Verstappen, N.Th., *Geomorfologi*, Gaja dan Proses, Balai Pendidikan Guru, Bandung.
- Wahyudi. 2005. Kajian Potensi Panas Bumi dan Rekomendasi Pemanfaatannya pada Daerah Prospek Gunung Api Ungaran Jawa tengah. Jurnal UGM. Yogyakarta.